# Eisenbahnschwellen

**Von Ministerialrat Dr.-Ing. habil. Gerhard Schramm, Offenbach (Main)**

Inhalt:

I. Rückblick
1. Allgemeines
2. Steinschwellen
3. Holzschwellen
4. Eisenschwellen

II. Die Holzschwelle
1. Technische Eigenschaften der Holzschwellen
2. Holzarten
3. Abmessungen der Holzschwellen
4. Sparschwellen
5. Schwellentränkung
6. Behandlung der Holzschwellen in den Schwellenlagern und Schwellenaufarbeitung
7. Verlegen der Holzschwellen

III. Die Stahlschwelle
1. Technische Eigenschaften der Stahlschwellen
2. Abmessungen der Stahlschwellen
3. Aufarbeiten von Stahlschwellen

IV. Die Betonschwelle
1. Neuere Entwicklung
2. Bauart der Betonschwellen
3. Technische Eigenschaften der Betonschwellen
4. Verlegen der Betonschwellen

V. Schwellenwirtschaft
1. Allgemeines
2. Lebensdauer der Schwellen
3. Wirtschaftlicher Vergleich der verschiedenen Schwellenarten
4. Notwendige jährliche Schwellenerneuerung bei der Deutschen Bundesbahn.

## I. Rückblick

### 1. Allgemeines

Die Eisenbahnschwelle ist genau so alt wie die Eisenbahn selbst; denn schon beim Bau der ersten Eisenbahnen war es klar, daß das Gleis zweckmäßig nicht auf festen Fundamenten zu gründen war. Die Linienführung erforderte es nämlich, das Gleis weitgehend auf aufgeschüttetem Bahnkörper (Dämmen) zu verlegen, und auf solchen können keine Fundamente gegründet werden. Aber auch dort, wo auf gewachsenem Boden der Bau eines Fundamentgleises an sich möglich gewesen wäre, nahm man davon Abstand, weil von vornherein klar war, daß der gleiche Zweck, nämlich die Übertragung der von den Fahrzeugen ausgeübten Achslasten auf den Boden, auf eine wesentlich billigere Art erreicht werden konnte. Infolgedessen blieb das Fundamentgleis auf die kurzen Abschnitte beschränkt, wo Gleise über Lösch- oder Untersuchungsgruben oder dergleichen zu führen waren. Im übrigen aber wurde das Gleis nicht *in* den Bahnkörper gegründet, sondern *auf* ihn aufgelegt. Abgesehen von Bahnen mit sehr leichten Fahrzeugen (Straßenbahnen) erwies sich dabei die Auflagerfläche der Schienen selbst als zu klein zur Übertragung der Achslasten auf den Bahnkörper; Versuche dieser Art schlugen ausnahmslos fehl. Es mußte vielmehr ein Bauglied zwischen Schiene und Boden eingeschaltet werden, und so entstand der verhältnismäßig leichte Gleisrost, den man heutzutage meint, wenn man kurz von einem Gleis spricht. Damit war aber die Eisenbahnschwelle geboren. Denn wir verstehen in weiterem Sinne unter einer *Schwelle* eben diejenigen Bauteile, welche die Schienen tragen und den Druck der Achslasten an den Unterbau (Bahnkörper oder Brücken) weitergeben.

Ursprünglich legte man die Schwellen unmittelbar auf den Boden. Bald stellte sich aber als zweckmäßig heraus, zwischen ihnen und dem Bahnkörper eine sogenannte *Gleisbettung* einzuschalten, die eine bessere Wasserabführung und Durchlüftung des Gleises gewährleistet und die Drücke besser auf den Boden verteilt. Wenn uns heute die Gleisgestaltung im allgemeinen recht einfach und selbstverständlich erscheint, so war doch bis zu den heutigen Bauformen in Wirklichkeit ein weiter Weg, der mit vielen Mißerfolgen gepflastert war und bei dem viel Lehrgeld bezahlt werden mußte. Dies hatte folgende Gründe: Erstens war das Gleis ein technisch vollkommen neues Gebilde, über dessen Eigenschaften und Bewährung alle Erfahrungen erst gesammelt werden mußten; und zweitens stellte man sich lange Zeit hindurch den Gleisrost fälschlicherweise als ein zu starres, unbewegliches und fundamentähnliches Gebilde vor.

Zwei Dinge waren für die Gleisgestaltung von ausschlaggebender Bedeutung: Erstens die Art der Unterschwellung und zweitens der Baustoff der Schwellen. Bezüglich der *Art der Unterschwellung* hatte man die Wahl zwischen folgenden Bauarten:

1. Einzelstützen,
2. Langschwellen,
3. Querschwellen,
4. Verbindung zwischen Lang- und Querschwellen.

Als *Baustoff* kamen zunächst nur in Betracht:

a) Naturstein,
b) Holz,
c) Eisen.

Die Schwellenart und der Baustoff bedingen sich zum Teil gegenseitig und stehen darüber hinaus in engem Zusammenhang mit der Art, in der die Schienen auf den Schwellen befestigt werden. Alle diese Schwellenarten und Baustoffe traten gleich beim Beginn des Eisenbahnwesens miteinander in Wettbewerb und blieben es viele Jahrzehnte hindurch, bis schließlich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die Querschwellen aus Holz und Eisen (Stahl) den Sieg davon trugen und die Einzelstützen, die Langschwellen und den Stein als Baustoff fast völlig verdrängten. Einen hervorragenden Überblick über die zahllosen Bauformen und Versuche gibt das umfangreiche Werk von *Haarmann* [12]* das wir hier weitgehend als Quelle benutzen.

*Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Schriftenverzeichnis am Ende der Arbeit.

**2. Steinschwellen**

Den Stein als Schwellenbaustoff zu verwenden lag sehr nahe; denn es war von vornherein gewiß, daß die im Boden liegenden Holzschwellen nach einer recht beschränkten Anzahl von Jahren der Fäulnis zum Opfer fallen würden, während man sich von den Steinschwellen eine fast unbegrenzte Lebensdauer erhoffen konnte. Daher finden wir bereits in den ersten Anfängen des Eisenbahnwesens am Ende des 18. Jahrhunderts Schwellen aus Naturstein. In der Regel handelt es sich dabei um Einzelstützen mit einem meist quadratischen Grundriß von 45 bis 60 cm Kantenlänge und mit 25 bis 30 cm Höhe. Auch die erste deutsche Eisenbahn Nürnberg—Fürth wurde mit solchen Steinquadern gebaut, obgleich *Friedrich List* ausdrücklich hölzerne Langschwellen empfohlen hatte, weil er glaubte, daß dadurch der Eisenverbrauch für die Schienen hätte eingeschränkt werden können.

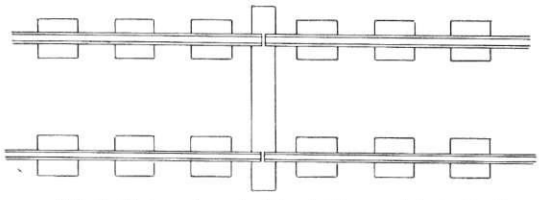

*Abb. 1. Steinquadern als Einzelstützen und fester Stoß*

Die Steinquadern verlegte man in Abständen von 90 bis 120 cm teils mit den Kanten in Schienenrichtung (Abb. 1), teils mit den Diagonalen in Schienenrichtung (Abb. 2), um dadurch die Schienen auf eine größere Länge zu unterstützen. Verwendet wurden Sandstein,

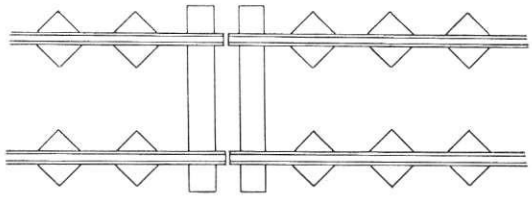

*Abb. 2. Steinquadern als Einzelstützen und schwebender Stoß*

Granit, Dolomit und ähnliche Gesteine. Eigenartigerweise traute man den Steinschwellen eine so feste Lage im Boden zu, daß man vielfach glaubte, auf Querverbindungen zur Spurhaltung verzichten zu können. Man unterschätzte offenbar in den ersten Zeiten des Eisenbahnwesens die von den Fahrzeugen in senkrechter und waagerechter Richtung ausgeübten Kräfte und Erschütterungen und stellte sich das Gleis viel zu starr und dauerhaft vor, wovon z.B. das englische Wort „permanent way" für Oberbau zeugt. Nachdem man aber erkannt hatte, daß Querverbindungen — wenigstens in gewissen Abständen — unerläßlich waren, ordnete man sie vor allem an den Schienenstößen an und naheliegenderweise in der Gestalt von *Steinquerschwellen*. Daß diese in kurzer Frist zu Bruch gehen mußten, erscheint uns heute selbstverständlich. Aber auch diese Erfahrung mußte erst einmal gemacht werden. Besser bewährten sich natürlich hölzerne Querschwellen.

Den Schienenstoß legte man entweder in die Mitte auf eine Schwelle als *festen Stoß* (Abb. 1) oder in die Mitte zwischen zwei Schwellen als *schwebenden Stoß* (Abb. 2). Im Jahre 1869 hatten die Bayerischen Staatsbahnen fast 400 km durchgehende Hauptgleise auf steinernen Einzelstützen, und in der Nähe von Bamberg lagen noch bis 1886 solche Steinschwellen mit Doppelkopfschienen auf Gußeisenstühlen.

Den unablässigen Versuchen mit Steinschwellen in Deutschland lag schon damals das Bestreben zugrunde, die Waldungen zu schonen, indem man statt des wertvollen und knappen Eichenholzes — denn dieses erschien zunächst allein für Schwellen geeignet — den in Deutschland in unerschöpflichen Mengen vorhandenen Stein verwendete. Diese Tatsache zeigt, wie weitgehend die Eisenbahntechnik von Beginn an mit volkswirtschaftlichen Belangen verbunden war. Die Steinschwellen erfüllten aber auf die Dauer doch zu wenig die in sie gesetzten Erwartungen. Die spröden Steinquadern waren den ständig wachsenden Achslasten und Betriebsbeanspruchungen nicht gewachsen, die Befestigung der Schienen auf dem Stein war weder technisch noch wirtschaftlich befriedigend zu lösen, und eine dauerhafte gute Gleislage nach Höhe, Richtung und Spurweite war mit erträglichem Kostenaufwand nicht zu erzielen, gleichgültig, ob man die Steinklötze unmittelbar auf den Bahnkörper legte oder eine besondere Gleisbettung zwischenschaltete. Ebensowenig wie die Einzelstützen bewährten sich die steinernen Langschwellen wegen der schwierigen Spurhaltung und Stoßausbildung, der mangelhaften Gleisentwässerung und der Neigung zum Brechen. Daher erklärten die „Technischen Vereinbarungen" des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen von 1876 die Steinschwellen ausdrücklich für ungeeignet, und seitdem wurden in Deutschland keine Steinschwellen mehr verlegt. In England hatte man sich schon um 1840 herum endgültig von den Steinschwellen abgewandt.

**3. Holzschwellen**

Während die Verwendung des spröden Werkstoffes Stein von vornherein im wesentlichen auf Einzelstützen beschränkt werden mußte, gestattete das Holz infolge seiner Biegefestigkeit eine wesentlich freiere Formgebung. Dieser Umstand und die Tatsache, daß vor 100 Jahren fast überall das Holz noch reichlich und billig vorhanden war, führten zu einer ausgiebigen Verwendung von Holzschwellen.

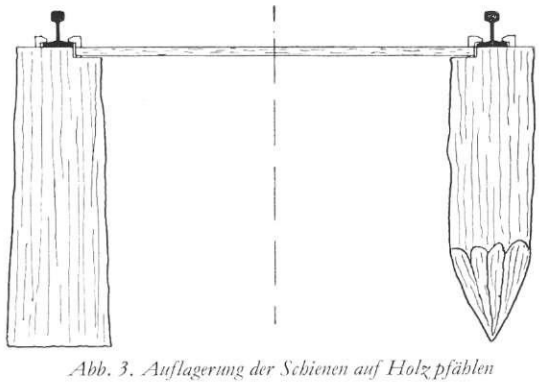

*Abb. 3. Auflagerung der Schienen auf Holzpfählen*

*Hölzerne Einzelstützen* haben nur eine geringe Rolle gespielt. Sie hatten ähnliche Abmessungen wie die Steinquadern (Abb. 1 und 2). In einigen Fällen befestigte man die Schienen auf senkrecht stehenden Holzpfählen (Abb. 3). Diese waren etwa 30 cm dick und 1 m lang

und unten teils flach oder zugespitzt. Diese Bauart versagte natürlich; denn erstens mußte die Befestigung der Schienen auf dem Hirnholz stets unzulänglich bleiben, und zweitens waren diese kurzen Hölzer keinesfalls genügend tragfähig. Zur ausreichenden Übertragung der Achslasten hätten es vielmehr regelrechte Rammpfähle in gewachsenem Boden sein müssen. Solche wären aber zu kostspielig gewesen.

Anfangs wurden weitgehend *hölzerne Langschwellen* verwendet. Dem Langschwellenoberbau lag der folgende grundsätzlich richtige Gedanke zugrunde: Die Schiene, welche ja vorzugsweise die Aufgabe hat, die Fahrzeuge zu führen, soll zur Ersparnis an dem teueren Eisen einen möglichst kleinen Querschnitt erhalten und muß daher auf ihre ganze Länge unterstützt werden. Solche schwachen, durchgehend unterstützten Schienen bilden auch heute noch bei Kranbahngleisen die Regel. Bei der Verwendung von Langschwellen muß Klarheit darüber bestehen, ob die Schwellen den Druck der Schienen aufnehmen und zugleich auf die Bettung übertragen sollen, oder ob sie nur als biegungssteife Träger dienen sollen, welche die senkrechten Kräfte an weitere Bauglieder (Querschwellen oder Einzelstützen) abgeben zur Übertragung auf die Bettung oder den Boden. Zahlreiche Bauformen von Langschwellengleisen lassen erkennen, daß man sich über diese Fragen vielfach nicht ganz im klaren war.

Zur unmittelbaren Druckübertragung auf die Bettung mußten die Langschwellen jedenfalls sehr breit gewählt werden. In Europa waren sie meist 6 m lang und hatten einen rechteckigen Querschnitt von 18 bis 20 cm Breite und 15 bis 16 cm Höhe. Damit fiel auf 1 m Gleislänge eine Druckübertragungsfläche von $2 \times 100 \times 20 = 4000$ cm². Demgegenüber hat unser Querschwellenoberbau K 49 auf Holz- und auf Betonschwellen eine wirksame Druckübertragungsfläche von 9000 bzw. 7000 cm² je m Gleis. Bei den Schwellenbreiten und -abständen, wie sie in den USA üblich sind [38], ergibt sich sogar eine Fläche von 10000 bis 11000 cm², was sich bei den dortigen etwas größeren Achslasten günstig auf die Unterhaltungskosten auswirkt.

Da es wegen der notwendigen großen Holzquerschnitte wirtschaftlich nicht möglich war, die hölzernen Langschwellen genügend breit für die unmittelbare Druckübertragung zu machen, gelangte man bald dazu, die Langschwellen in gewissen Abständen durch weitere Bauglieder zu unterstützen, z.B. durch Steinblöcke oder durch Holzquerschwellen. Die letzten dienten dann zugleich der Spurhaltung. Damit entstand aber ein in statischer Hinsicht recht unklares Zwittergebilde zwischen Lang- und Querschwellengleis. Als Hauptmangel dieser Gleisbauart stellte sich aber vor allem die Unmöglichkeit einer einwandfreien Gleisentwässerung heraus. Die weitere Entwicklung führte zwangsläufig zum Querschwellengleis. Bauarten, bei denen verhältnismäßig schwache Langschwellen auf zahlreichen Querschwellen ruhen, kann man kaum mehr als Langschwellengleise bezeichnen, denn dabei dienen die Langschwellen lediglich zur Verstärkung der an sich zu schwachen Flachschienen.

In den USA wurden bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts überwiegend Langschwellen verwendet, während man sich in Deutschland bereits um 1850 herum von dieser Bauart abgewendet hatte. Schließlich sprach der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen der Langschwelle dadurch das Urteil, daß er in die „Technischen Vereinbarungen" von 1876 den Satz aufnahm, „daß bei der Verwendung von Unterlagen aus Holz das System der Querschwelle dem der Langschwelle unbedingt vorzuziehen sei". Der Weg für den Querschwellenoberbau war frei, nachdem es gelungen war, tragfähige biegungsfeste Schienen herzustellen. In den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gab es zunächst die guß- und schmiedeeisernen Fischbauchschienen mit pilzförmigem Querschnitt, und bald folgten die gewalzten Schienen, zunächst auch mit Pilz-Querschnitt, dann aber als Doppelkopfschienen. Nach und nach setzte sich die *Breitfußschiene* durch, die zum ersten Male im Jahre 1832 in England gewalzt wurde und die fälschlicherweise noch heute oft als „Vignol-Schiene" bezeichnet wird. Der Engländer *Vignoles* hat die Breitfußschiene nur gelegentlich für Bahnbauten empfohlen; erfunden hat sie dagegen der Amerikaner *Stevens* [12, 13].

Die *Formgebung der Holzschwellen* war ursprünglich recht verschieden. Neben dem rechteckigen Querschnitt wurden trapezförmige, halbrunde, ja sogar dreieckige angewendet, wobei meist das Bestreben zugrunde lag, die gegebenen Baumstämme günstigst auszunutzen. Schließlich setzte sich aber mehr und mehr die vierseitig bearbeitete rechteckige Form nach Abb. 4a durch und daneben die drei- und zweiseitig bearbeiteten Formen nach Abb. 4b und c, welche auf *einer* Seite oder *beiderseits* die natürliche Rundung des Baumstamms aufweisen und dadurch eine bessere Holzausnutzung gestatten. Die Abmessungen der Holzschwellen schwankten in den ersten Zeiten des Eisenbahnwesens in weiten Grenzen. Man findet in Deutschland Längen von 2,16 bis 3,14 m, Breiten von 18 bis 39 cm und Höhen von 13 bis 16 cm. Schließlich fand *Zimmermann* [47] 1888 durch theoretische Untersuchungen, daß bei einer gleichmäßigen Auflagerung der Schwelle auf ihrer ganzen Länge bei einer vollkommen federnd gedachten Auflagerung die 2,70 m lange Schwelle am günstigsten sei. Dabei ergibt sich nämlich rechnerisch eine Verteilung der Auflagerspannungen nach Abb. 5, bei welcher die Spannungen an den Schwellenenden ebenso groß sind wie in der Schwellenmitte. Dieses Spannungsbild ist allerdings stets nur ein gedachtes und wird der Wirklichkeit auf die Dauer nicht entsprechen. Denn durch die Rüttelbewegung des Betriebes sackt die Bettung im Bereich der Schienen mehr zusammen als in der Schwellenmitte, und sie kann nach den Schwellenenden hin etwas nach außen ausweichen. Infolgedessen tritt bei einer von vornherein gleichmäßig auf die ganze Länge aufliegenden Schwelle

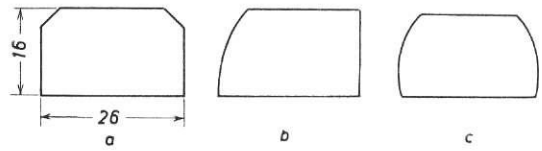


*Abb. 4. Querschnitte von Holzschwellen*

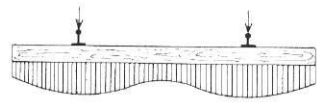

*Abb. 5. Theoretisch günstigste Druckverteilung unter der Querschwelle*

früher oder später der unerwünschte Zustand des „Reitens" ein, der darin besteht, daß der Auflagerdruck in der Schwellenmitte am größten ist, wodurch sich eine unsichere labile Gleislage ergibt. Um diesen mit Sicherheit zu vermeiden, ist man in den letzten Jahrzehnten dazu übergegangen, die Schwellen im mittleren Teil nicht zu unterfüllen und sie damit in diesem Abschnitt für die Lastübertragung auf die Bettung überhaupt nicht auszunutzen. Man strebt also ein Spannungsbild nach Abb. 6 an, das einer Unterschwellung mit Einzelstützen entspricht und erreicht dies tatsächlich mit Schwellen von 2,5 bis 2,6 m Länge bei Herstellung einer Bettungsmulde in Gleismitte.

*Abb. 6. Angestrebte Druckverteilung unter der Querschwelle*

Der Schwellenquerschnitt näherte sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts mehr und mehr dem heutigen von etwa 26 cm Breite und 16 cm Höhe (Abb. 4a). Die Schwellenabstände schwankten im vergangenen Jahrhundert in Europa je nach den Achslasten und der gewählten Schienenform von 63 bis 125 cm. In den USA dagegen wendete man schon damals — wie noch heute — durchweg kleinere Schwellenabstände an (58 bis 70 cm).

Die verwendeten *Holzarten* richteten sich ursprünglich weitgehend nach den gegebenen Waldbeständen. Man bevorzugte in Europa die *Eiche*, benutzte aber daneben auch die *Kiefer*, *Lärche*, *Fichte* und *Tanne*, während das *Buchenholz* lange Zeit hindurch ausgeschlossen blieb, weil es zu rasch verfaulte und zum Reißen neigte. Der gewaltige Bedarf an Schwellenholz für die rasch wachsenden Eisenbahnnetze erregte schon frühzeitig die Besorgnis, daß die Waldbestände dadurch vernichtet werden könnten. So schreibt z.B. *v. Etzel* in „Dankelmanns Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen" i. J. 1876 [9, 12] folgendes:

> „Den wundesten Punkt bildet der immer riesiger werdende Bedarf an Eisenbahnschwellen. Hier kann man mit Recht fragen: Wo soll das hinaus? Auf der ganzen Erde wächst nur ein Bruchteil von Eichenholz hinzu, welcher alljährlich unter unsere Schienen gebettet wird, um dort trotz aller Präparierung in wenigen Jahrzehnten zu verfaulen. Es ist nur zu gewiß, daß die zweite, höchstens die dritte Generation, von uns an gerechnet, vor der Unmöglichkeit stehen wird, Bahnen mit Eichenschwellen zu bauen, und wenn man sie mit Gold aufwiegen wollte! Auch die Schwellen aus anderen Holzarten werden bei ihrer viel kürzeren Lebensdauer immer teurer und seltener werden und zuletzt nicht mehr zu beschaffen sein."

Die zuerst örtlich entstehende Holzknappheit konnte allerdings zum Teil gerade infolge der Entwicklung des Eisenbahnwesens dadurch aufgefangen werden, daß die Bahnen neue Waldgebiete erschlossen und es gestatteten, die Schwellen über große Entfernungen hin heranzuholen. Aber im wesentlichen war diese trübe Voraussage durchaus zutreffend. Wir leben jetzt in der zweiten folgenden Generation. Das Eichenholz ist tatsächlich schon so knapp geworden, daß es nur noch für Sonderzwecke (Weichen- und Brückenschwellen) verwendet werden kann; und bereits die kommende Generation wird sich — genau entsprechend der Voraussage von *v. Etzel* — ernsten Holzbeschaffungsschwierigkeiten auch bei anderen Holzarten gegenübersehen. Die Lage wäre bereits viel bedenklicher, wenn es nicht inzwischen gelungen wäre, durch die Teeröltränkung erstens die Lebensdauer der Schwellen erheblich zu erhöhen und zweitens das Buchenholz für die Schwellen nutzbar zu machen.

Bereits 1880 wurde ein erheblicher Anteil der Schwellen getränkt. Hierüber und über die Verwendung der einzelnen Holzarten in Deutschland nach dem Stand des Jahres 1888 gibt Tafel 1 Aufschluß [12]. Insgesamt lagen damals 57,43 Millionen Holzschwellen in den Gleisen.

*Tafel 1*

*Übersicht über die Holzschwellen, die i. J. 1888 in Deutschland lagen*

| Holzart | Anzahl der Schwellen in % | | |
|---|---|---|---|
| | getränkt | ungetränkt | zusammen |
| Eichenschwellen | 30,7 | 21,4 | 52,1 |
| Buchenschwellen | 2,3 | 0,3 | 2,6 |
| Nadelholzschwellen | 42,2 | 3,1 | 45,3 |
| Zusammen: | 75,2 | 24,8 | 100,0 |

Wie man sieht, waren in jener Zeit noch über die Hälfte aller in den Gleisen liegenden Schwellen Eichenschwellen, wogegen jetzt in Deutschland Gleisschwellen aus Eichenholz so gut wie gar nicht mehr vorkommen. Rund ein Viertel der Schwellen war damals noch nicht getränkt.

**4. Eisenschwellen**

In den vierziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts war die Eisenhüttentechnik so weit fortgeschritten, daß man mit Erfolg an die Herstellung eiserner Schwellen herangehen konnte. Ebenso wie die Holzschwellen traten die Eisenschwellen als Lang- und Querschwellen auf, daneben aber auch als Einzelstützen. Zunächst wurde überwiegend Gußeisen verwendet, später aber mehr und mehr Schweißeisen. Die Verwendung von Eisen lag besonders in denjenigen tropischen Ländern nahe, in denen das Holz durch biologische Einflüsse (besonders Termitenfraß) rasch zerstört wird. Ferner bot das Gußeisen den Vorteil, daß man in der Formgebung der Schwellen fast völlig freie Hand hatte, und man versprach sich ferner mit Recht von den Eisenschwellen einen größeren Widerstand des Gleises gegen seitliches Verschieben und bei eisernen Querschwellen eine dauerhaftere Spurhaltung.

Besonders große Anstrengungen machte man bezüglich einer geeigneten Langschwelle. Jedoch befriedigte der Langschwellenoberbau mit Eisenschwellen auf die Dauer ebensowenig wie der mit Holzschwellen. Ebenso erging es den zahlreichen Bestrebungen, die Schienen und Schwellen zu einem einzigen Baugliede, einer sogenannten *Schwellenschiene*, zu vereinigen. All diese Bemühungen endeten in den letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts mit Fehlschlägen.

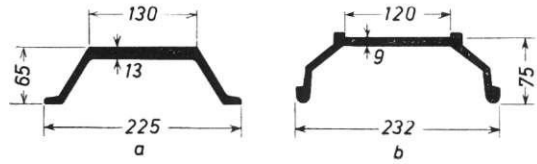


*Abb. 7. Querschnitte von Stahlschwellen (alte und neue Form)*

Die Anzahl der im Laufe der Zeit vorgeschlagenen und versuchten Formen von Eisenschwellen ist fast unübersehbar. Ursprünglich waren die Schwellenquer-

schnitte meist trapezförmig (Abb. 7a). In den achtziger Jahren ging man aber mehr und mehr zu dem trogförmigen Querschnitt über, der jetzt allgemein vorherrscht (Abb. 7b). Da die Schwellen jetzt fast durchweg aus Stahl gewalzt werden, spricht man nunmehr nur noch von *Stahlschwellen* und nicht mehr von Eisenschwellen. Neben den stählernen Querschwellen haben sich bis auf den heutigen Tag in geringem Umfang Einzelstützen aus Stahlguß mit Keilbefestigung der Schiene erhalten, und zwar besonders in Indien mit einer ähnlichen Form, wie sie bereits vor über 100 Jahren versucht wurde. In den meisten Ländern — besonders den holzreichen — konnte sich aber die Stahlschwelle nicht durchsetzen. Im europäischen Bereich fand sie nur größere Verbreitung in Deutschland, Griechenland, der Schweiz und der Türkei. In Deutschland wurden seit Mitte der zwanziger Jahre bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges je zur Hälfte Stahl- und Holzschwellen beschafft. Diese zunehmende Verwendung der Stahlschwellen hat dazu geführt, daß im Bereich der Deutschen Bundesbahn (DB) jetzt etwa 44% aller Gleise auf Stahlschwellen liegen. Bei der Gesamtlänge des DB-Netzes von 71500 km sind dies 31000 km Gleis oder 48 Millionen von insgesamt 110 Millionen Stück Gleisschwellen. Die empfindliche Stahlknappheit in Deutschland, die vor dem Kriegsausbruch einsetzte und auch heute noch anhält, brachte es mit sich, daß seit 1939 in Deutschland überhaupt keine Stahlschwellen mehr beschafft worden sind. Dementsprechend sinkt seitdem die Anzahl der Stahlschwellen in den Gleisen der DB langsam wieder.

Bereits im vorigen Jahrhundert wurde verschiedentlich vorgeschlagen, Schwellen aus *Beton* oder anderen *Kunststoffen* herzustellen. Diese Baustoffe waren aber damals noch nicht genügend entwickelt, als daß es möglich gewesen wäre, sie erfolgreich für Schwellen zu verwenden. Die Unbrauchbarkeit dieser Schwellen stellte sich daher regelmäßig schon nach kürzester Zeit heraus.

## II. Die Holzschwelle

### 1. Technische Eigenschaften der Holzschwellen

Die Holzschwelle hat folgende *Vorzüge*:

a) Sie war ursprünglich fast überall in genügenden Mengen und billig zu beschaffen.

b) Sie ist leicht zu bearbeiten durch Sägen, Hobeln, Bohren und Verdübeln. Dementsprechend macht die Befestigung der Schienen auf ihnen keine besonderen Schwierigkeiten.

c) Schwellen, die in den durchgehenden Hauptgleisen den Ansprüchen nicht mehr genügen, können aufgearbeitet und dann noch längere Zeit in weniger stark beanspruchten Gleisen liegen.

d) Nicht mehr gleisfähige Holzschwellen haben immer noch einen gewissen Wert, weil sie als Bau- und Brennschwellen noch weiter benutzt oder verkauft werden können.

e) Holzschwellen sind unempfindlich gegen Stöße und Schläge und können daher beim Befördern kaum beschädigt werden.

f) Die Fahrgeräusche auf dem Holzschwellenoberbau sind geringer als auf dem Stahlschwellenoberbau, was durch genaue Phon-Messungen festgestellt worden ist [43].

Vielfach wird den Holzschwellen eine größere Elastizität und damit ein „weicheres" Befahren nachgerühmt. Dabei handelt es sich allerdings mehr um ein gefühlsmäßiges Urteil, zu dem wohl vor allem das geringere Fahrgeräusch verleitet. Durch Messungen ist jedenfalls ein besonderer Vorteil der Holzschwellen in dieser Hinsicht noch nicht festgestellt worden (vgl. Abschnitt IV.3).

Diesen Vorteilen der Holzschwellen stehen folgende *Nachteile* gegenüber:

a) Die Lebensdauer der Holzschwellen ist geringer, als es im Hinblick auf die Kosten der Gleisunterhaltung wünschenswert wäre. In den Gleisen der 1. Ordnung erreichen die neuverlegten Schwellen nur Liegedauern von 20 bis 25 Jahren.

b) Das Holz ist im Laufe der vergangenen Jahrzehnte immer knapper geworden. Man muß sich daher vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus fragen, ob es sinnvoll ist, einen so wertvollen und für viele Zwecke unersetzlichen organischen Stoff wie das Holz für Gleisschwellen zu verwenden, d. h. ihn in den Boden zu legen und dort in wenigen Jahrzehnten verrotten zu lassen.

c) Die Preise der Holzschwellen sind starken Konjunkturschwankungen unterworfen und zeigen gerade jetzt wieder eine starke Neigung zum Ansteigen. Diese Unstetigkeit ist aber in oberbauwirtschaftlicher Hinsicht sehr störend.

Wenn auch rein technisch gesehen die Holzschwelle allen Anforderungen entspricht, so ist es hiernach doch verständlich, daß man sich — besonders nach den Erfahrungen der vergangenen zwei Jahrzehnte in Deutschland — ernstlich bemüht, Schwellen zu finden, welche diese Nachteile nicht aufweisen, um dadurch wenigstens bis zu einem gewissen Grade von der Holzschwelle unabhängig zu werden. Vorläufig beherrscht jedoch die Holzschwelle noch durchaus das Feld.

### 2. Holzarten

Als Holzarten kommen in Europa in Betracht die *Buche*, *Kiefer*, *Lärche* und *Eiche*. Fichten- und Tannenholz wird nicht für Schwellen verwendet, da es sich nicht genügend durchtränken läßt. Bei der üblichen Einteilung nach *Weichholz* und *Hartholz* gehören die Nadelhölzer zum Weichholz und Buche und Eiche zum Hartholz. Ursprünglich überwogen in Deutschland die Eichenschwellen, dann die Kiefernschwellen und in Zukunft werden es die Buchenschwellen sein. Die folgende Tafel 2 veranschaulicht diese Entwicklung.

*Tafel 2. Holzarten bei der Schwellenbeschaffung in Deutschland in %*

| Holzart | Anzahl der Schwellen in % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1880 | 1913 | 1939 | 1952 |
| Eichenschwellen | 58 | 6 | 6 | 6 |
| Buchenschwellen | 0 | 23 | 54 | 64 |
| Kiefern- und Lärchenschwellen | 42 | 71 | 40 | 30 |

Das Eichenholz ist in Deutschland im Laufe der vergangenen Jahrzehnte so knapp geworden, daß es jetzt fast nur noch für Weichen- und Brückenschwellen verwendet wird. Eine gewisse Menge an Eichenschwellen wird aus dem Ausland eingeführt. Ebenso wurden in früheren Jahren ständig Lärchenschwellen aus Österreich eingeführt. Zur Zeit spielen jedoch die Lärchenschwellen in Deutschland keine Rolle. Von den Holzschwellen, die im Jahre 1924 in den Gleisen der Deutschen Reichsbahn lagen, waren 73,5% Weichholzschwellen, 22,4% Buchenschwellen und 4,1% Eichenschwellen. Seitdem ist jedoch der Anteil an Buchenschwellen entsprechend den veränderten Beschaffungsverhältnissen (Tafel 2) ständig gestiegen, besonders nach dem zweiten Weltkriege, durch den die kiefernreichen Ostgebiete verloren gingen.

Eichenschwellen sind in jeder Hinsicht am besten. Gut getränkte Buchenschwellen stehen ihnen jedoch bezüg-

lich der Lebensdauer kaum nach. Dagegen neigen die Buchenschwellen zum Reißen und Verbiegen. Wegen dieser Eigenschaften sind sie für die langen Weichenschwellen weniger geeignet. Das Aufreißen der Buchenschwellen verhindert man durch Einschlagen von stählernen S-Haken an den Schwellenenden oder neuerdings in zunehmenden Maße durch das Binden der Schwellenenden durch Bandeisen mittels besonderer Bindegeräte.

Sowohl die Eichen- wie die Buchenschwellen gestatten es, auch bei Gleisen mit schweren Achslasten, die Schienen ohne eiserne Unterlagplatten auf den Schwellen zu befestigen (H-Oberbau) und dadurch an Stahl zu sparen, während die Weichhölzer ohne Unterlagplatten den starken Schienenpressungen nicht lange standhalten können.

Bei der Verwendung ausländischer Harthölzer, die vor allem aus Südamerika angeboten werden, ist große Vorsicht am Platz, weil diese Hölzer wegen ihrer großen Dichte nicht getränkt werden können und in unserem Klima vielfach nur eine viel kürzere Lebensdauer erreichen als in ihren Heimatländern.

### 3. Abmessungen der Holzschwellen

Für die Bemessung der Holzschwellen sind nicht Spannungsberechnungen auf Grund der Beanspruchungen durch die Achslasten der Fahrzeuge ausschlaggebend, weil die Grundlagen für derartige Rechnungen viel zu unsicher sind. Wie bereits im Abschnitt I erwähnt, folgt man jetzt hinsichtlich der Auflagerbedingungen und der Schwellenlänge nicht mehr den Rechnungsgrundlagen und Ergebnissen von *Zimmermann* [35, 47], sondern hat vielmehr als *Schwellenlänge* 250 bis 260 cm gewählt (statt 270 cm). Die Schwellenquerschnitte sind auf Grund langer Erfahrungen nach praktischen Gesichtspunkten festgelegt worden, wobei unter anderem auch die Fragen der Beschaffungsmöglichkeiten und der Aufarbeitung ausgebauter altbrauchbarer Schwellen eine gewisse Rolle spielen.

Zur Erzielung eines möglichst niedrigen Bettungsdruckes ist eine große Auflagerfläche und damit eine große Schwellenbreite erwünscht; dieser sind jedoch gewisse Grenzen gesetzt, und zwar erstens oberbautechnisch dadurch, daß zwischen den Schwellen ein genügend großer lichter Abstand im Hinblick auf das Unterstopfen mit der Stopfhacke vorhanden sein muß, und zweitens beschaffungstechnisch im Hinblick auf eine möglichst günstige Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Rundhölzer. Die DB sieht in ihren Lieferbedingungen für Holzschwellen [7] Rechteckquerschnitte vor mit folgenden Breiten-, Längen- und Höhenabmessungen in cm:

a) Form 1: 26 : 16 : 260,
b) Form 2a: 24 : 15 : 250,
c) Form 2b: 24 : 14 : 250.

Die Lieferbedingungen geben im einzelnen an, welche Abweichungen von diesen Regelmaßen zugelassen werden. Die oberen Schwellenkanten dürfen abgerundet sein (Waldkanten). Die Auflagerfläche für die Schiene oder Unterlagplatte muß mindestens 16 cm breit sein, bei Weichenschwellen der Form 1 20 cm und der Form 2 18 cm.

Es ist wichtig zu wissen, welche Größenordnung die Biegespannungen in den Holzschwellen unter den Betriebslasten ungünstigenfalls erreichen können. Für eine ruhende Last ergibt sich folgendes: Steht ein Rad mit einer Last von 10 t auf der Schiene über einer Schwelle, so drückt die Schiene mit einer Kraft von rund 4 t auf die Schwelle [35]. Nehmen wir als ungünstigsten Fall den Oberbau ohne Unterlagplatten an, so tritt die größte Biegespannung im Querschnitt am äußeren Schienenfußrand auf und beträgt bei der Schienenfußbreite von 12,5 cm und der Schwellenlänge von 260 cm $\sigma = 39 kg/cm^2$. Unter den fahrenden Zügen kann sich aber infolge dynamischer Einwirkungen und Schläge durch unrunde Räder der Schienendruck auf etwa das 2,2fache gegenüber dem Ruhezustand erhöhen [22,30]. Damit wird die größte Schwellenspannung $2{,}2 \times 39 = 86 kg/cm^2$. Bei den als Schwellen verwendeten Hölzern beträgt die zulässige Spannung jedoch mindestens $100 kg/cm^2$. Demnach würden sogar noch kleinere Schwellenquerschnitte ausreichen, wie sie z.B. in England üblich sind. Wie aber oben erwähnt, sind für die Bemessung des Schwellenquerschnitts überhaupt nicht die statische Berechnung, sondern konstruktive und wirtschaftliche Gesichtspunkte verschiedener Art ausschlaggebend. In den USA beträgt der Schwellenquerschnitt in cm etwa 23 : 17,5 [38]. Diese geringere Schwellenbreite hängt mit dem kleineren Schwellenabstand zusammen, der dort üblich ist (45 bis 50 cm statt 65 cm bei der DB).

Die Schwelle der Form 1 hat bei Berücksichtigung der üblichen Waldkanten einen Rauminhalt von 0,105 $m^3$. Dementsprechend gehen 9,5 Schwellen auf einen Festmeter Holz. Die Schwelle der Form 2a hat einen Rauminhalt von 0,087 $m^3$, der um 17% kleiner ist als bei der Form 1. Dementsprechend gehen 11,5 Schwellen der Form 2a auf einen Festmeter Holz. Beim Sägen der Schwellen aus dem Rundholz entsteht erheblicher Abfall. Infolgedessen erhält man bei der Schwellenherstellung aus einem $m^3$ Rundholz erfahrungsgemäß im Durchschnitt nur 5,75 Schwellen; d.h. für eine Schwelle benötigt man durchschnittlich 0,174 $m^3$ Rundholz. Unter den Schienenstößen bevorzugt die DB die *Kuppelschwelle*. Sie besteht aus zwei Regelschwellen, die durch zwei Schraubenbolzen miteinander verbunden werden.

Das Gewicht der Holzschwellen läßt sich nicht so genau angeben wie das der Stahl- oder Betonschwellen, weil die Wichte des Holzes in gewissen Grenzen schwankt. Die Durchschnittsgewichte für Schwellen der Form 1 sind in der folgenden *Tafel 3* zusammengestellt.

*Tafel 3. Durchschnittliche Gewichte der Holzschwellen der Form 1 in kg*

| Einzelteile | Gewichte in kg | | |
|---|---|---|---|
| | Holzart | | |
| | Buche | Kiefer | Eiche |
| Schwelle vor der Tränkung | 86,5 | 64,6 | 92,1 |
| Tränköl (s. Abschn. II. 5) | 15,2 | 6,6 | 4,7 |
| Platten und Schwellenschrauben für K-Oberbau | 21,8 | 21,8 | 21,8 |
| Schwellenschrauben für H-Oberbau | 4,3 | | 4,3 |
| Gesamtgewicht der Schwelle für K-Oberbau | 123,5 | 93,0 | 118,6 |
| Gesamtgewicht der Schwelle für H-Oberbau | 106,0 | | 101,1 |

**4. Sparschwellen**

Im letzten Kriege zwangen der völlige Ausfall der Stahlschwellen und die zunehmende Holzverknappung in Deutschland zu einer weitgehenden Einschränkung der Schwellenerneuerungen unter das zur Erhaltung des bestehenden Gleiszustandes nötige Maß. Die Verhältnisse verschlechterten sich nach dem Kriege noch mehr; und es ist bis heute noch nicht wieder möglich geworden, die Schwellen in dem erforderlichen Umfang laufend zu erneuern, was allerdings zur Zeit weniger an Holzmangel liegt als vielmehr an Geldmangel. Weil durch das längere Liegenlassen der Schwellen in den Gleisen infolge dieser Notlage der Zustand des Oberbaus sich mehr und mehr verschlechtern mußte, versuchte man alles, um sowohl die Altschwellen bis zum äußersten auszunutzen und die Lebensdauer der Schwellen möglichst zu verlängern, als auch die Beschaffungsschwierigkeiten durch weitgehende Ausnutzung der Hölzer zu verringern [41]. Zu diesem Zweck zog man *Sparschwellen* nach folgenden Verfahren in Erwägung:

a) Verwendung von Teilen nicht mehr gleisfähiger Altschwellen.

b) Veredelung von Weichholzschwellen durch Aufsatteln von Hartholz- oder Schichtholzplatten.

c) Herstellung neuer Schwellen von etwa gleichem Gewicht wie die gewöhnlichen Schwellen, jedoch aus Schnitthölzern von kleineren Querschnitten.

d) Herstellung neuer Schwellen von erheblich geringerem Gewicht als die gewöhnlichen Schwellen aus Hölzern mit kleineren Querschnitten.

Die Einzelteile können entweder durch Leim miteinander verbunden werden oder durch mechanische Hilfsmittel (Schrauben, Nägel, Dübel, Verkeilung) oder durch beide Mittel zusammen.

*Verfahren a) :* Diese Sparmaßnahme besteht darin, daß man aus denjenigen ausgebauten Altschwellen, die als Ganzes nicht mehr gleisfähig erscheinen, noch brauchbare Stücke herausschneidet und diese entweder zu ganzen Schwellen zusammenfügt (Abb. 8a) oder als Einzelstützen verwendet, wobei diese entweder mit (Abb. 8b) oder ohne Verbindung zwischen den beiden Schienen verlegt werden können. Im letzten Falle muß man jedoch mindestens für jede dritte Schwelle eine durchgehende Querschwelle verwenden.

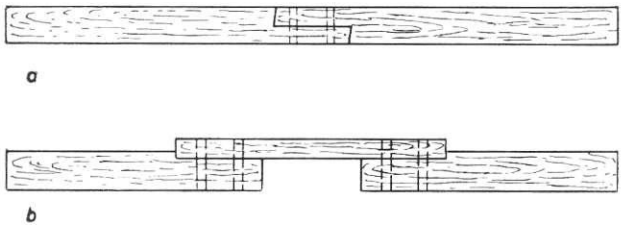


*Abb. 8. Sparschwellen, hergestellt aus kurzen Schwellenstücken*

Eine Holzersparnis tritt durch solche Maßnahmen nur *mittelbar* ein, nämlich dadurch, daß der Bedarf an altbrauchbaren Schwellen etwas geringer wird und dementsprechend auch der Nachschub an neuen Schwellen in die Gleise der 1. Ordnung. Wenn daher auch im großen gesehen hierdurch nicht allzuviel gewonnen wird, so kommt dieses Verfahren für untergeordnete Gleise (3. Ordnung) durchaus in Betracht als Notmaßnahme in Zeiten besonderer Holz- oder Geldknappheit, zumal es nur wenig zusätzliche Kosten verursacht.

*Verfahren b) :* Diese Schwellenaufsattelung wurde bereits vor Jahrzehnten in Bayern von *Rambacher* versucht. Die Hartholzplatte bestand aus drei Teilen (Abb. 9), die sich durch Keilwirkung gegen schwalbenschwanzförmige Ausnehmungen in der Schwelle abstemmten. Bei diesem Verfahren handelt es sich weniger um eine unmittelbare Ersparnis an zu beschaffendem Holz, als vielmehr um einen Versuch, die Lebensdauer der Weichholzschwellen zu verlängern, was sich natürlich auf lange Sicht auch auf die Schwellenbeschaffung auswirken könnte. Das Verfahren befriedigte jedoch nicht, weil es nicht gelang, die Hartholzplatten genügend dauerhaft mit der Weichholzschwelle zu verbinden. Eine unmittelbare Holzersparnis könnte mit dem Aufsatteln nur dadurch erzielt werden, wenn man der Weichholzschwelle im Hinblick auf die Verstärkung durch die Aufsattelung eine geringere Höhe gäbe. Auch diesen Weg ist man im Kriege versuchsweise gegangen, indem man sich mit einer Halbrundschwelle von nur 14 cm Höhe begnügte (Abb. 10a), auf die eine Platte aus Buchen- oder Schichtholz aufgeleimt wurde, teils unter Verwendung zusätzlicher Befestigungsmittel. Auf diese Weise schien es möglich zu sein, noch aus einem Stamm von 28 cm Durchmesser zwei Schwellen zu gewinnen. Aber auch diese Versuche befriedigten wenig.

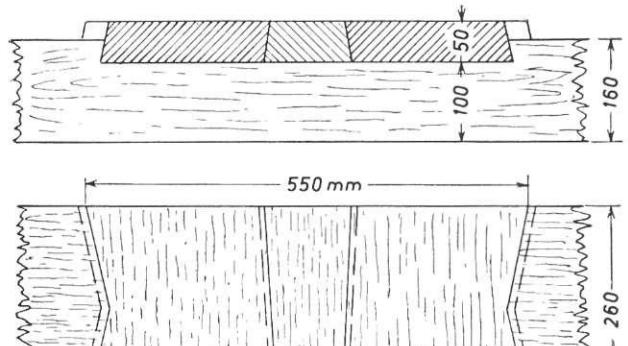


*Abb. 9. Aufsattlung von Hartholzplatten nach Rambacher*

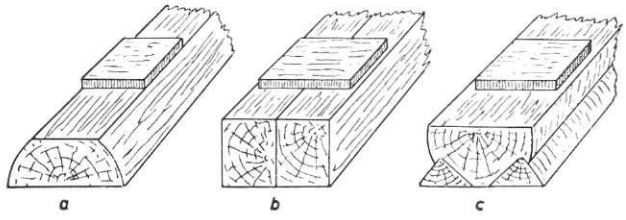


*Abb. 10. Verschiedene Arten von Sparschwellen*

*Verfahren c) :* Dieses Verfahren hat nur dann einen Zweck, wenn die Schnitthölzer mit den kleineren Abmessungen leichter zu beschaffen sind als die Schwellen mit ihren großen Querschnitten. Diese Voraussetzung war jedoch selbst im Kriege im allgemeinen nicht erfüllt; denn die für Bauzwecke dringend benötigten Schnitthölzer mit kleineren Abmessungen waren in der Regel genau so knapp wie die aus dem weniger wertvollen Wipfelholz geschnittenen Schwellen mit dem großen Querschnitt. Infolgedessen kam diesem Verfahren von vornherein keine nennenswerte Bedeutung zu. Um aber auch in dieser Hinsicht nichts unversucht zu lassen, stellte man einige Schwellen nach Abb. 10b her, die aus zwei Balken von je halbem Schwellenquerschnitt mit senkrechter Leimfuge hergestellt wurden, wobei die beiden Teile sicherheitshalber noch zusätzlich durch Rundholzdübel verbunden wurden. Einige solche Schwellen liegen seit über 10 Jahren in einem schwach belasteten Gleis 1. Ordnung. Eine weitere Versuchsausführung war die nach Abb. 10c, bei der Rundhölzer verwendet werden sollten, die bei der Herstellung von Furnieren übrigblieben. Daneben wurden noch manche andere Bauarten vorgeschlagen. Die Erfahrungen mit solchen Schwellen gaben aber keinen Anlaß, diese kleinen Versuche auf breiter Grundlage fortzuführen.

*Verfahren d):* Hierbei handelt es sich um den Gedanken, bei neuen Schwellen dadurch merklich an Holz zu sparen, daß die Schwelle aus verhältnismäßig schwachen Brettern zusammengeleimt wird. Diese Vorschläge sind nicht verwirklicht worden; denn es stand im voraus fest, daß mit derartig gekünstelten Bauarten weder technisch noch wirtschaftlich etwas Brauchbares herauskommen konnte. Selbst wenn es — entgegen allen Erfahrungen mit geleimten Schwellen — wirklich gelingen sollte, eine Schwelle mit einem um 20 bis 30% geringerem Gewicht herzustellen, so würde ihre Lebensdauer nur kurz sein, und eine Wiederverwendung nach dem Ausbau aber unmöglich. Infolgedessen würden derartige Schwellen, auf lange Sicht gesehen, überhaupt keine Holzersparnis bedeuten, sondern im Gegenteil eine Holzverschwendung. Abgesehen davon, ist aber auch jede Gewichtsverminderung des Gleises oberbautechnisch sehr unerwünscht; und der gelegentlich gemachte Vorschlag, die Gewichtsverminderung bei derartigen Sparschwellen dadurch auszugleichen, daß man die Schwellen künstlich mit Steinen oder Betonklötzen beschwert, kann überhaupt nicht ernst genommen werden.

Zusammenfassend ist über die Sparschwellen nach b) bis d) folgendes zu sagen: Die Reichsbahn befaßte sich im letzten Kriege mit den Sparschwellen nur deshalb, damit angesichts der Schwellenknappheit nichts unversucht bleibe. Sie war aber im voraus dieser Sache gegenüber sehr mißtrauisch, und zwar mit Recht, wie sich inzwischen herausgestellt hat. Die Leimung erwies sich trotz aller Bemühungen und Hoffnungen nirgends so zuverlässig und dauerhaft, wie es manche erwartet hatten. Außerdem sind die Verfahren recht kostspielig. Glücklicherweise ist man seinerzeit über verhältnismäßig wenige Versuchsschwellen nicht hinausgekommen. Hätte man in den Kriegsjahren solche Schwellen millionenweise verlegt, so wäre dadurch ein riesiger Schaden entstanden, und die oberbautechnischen Schwierigkeiten der DB wären jetzt noch größer, als sie ohnedies schon sind. Mag es in der Notlage eines Krieges allenfalls noch gerechtfertigt erscheinen, einen derartig faulen Wechsel auf die Zukunft zu ziehen, so wäre dies in Friedenszeiten, wo man in der Oberbauwirtschaft immer einige Jahrzehnte voraus denken muß, unverantwortlich. Daher hat die Deutsche Bundesbahn nach der Währungsumstellung, die ja die wirtschaftlichen Gesichtspunkte wieder in den Vordergrund rückte, alle weiteren Versuche mit Sparschwellen eingestellt.

#### 5. Schwellentränkung

Wenn die Holzschwellen nicht mit fäulniswidrigen Stoffen behandelt werden, ist ihre Lebensdauer nur recht kurz, und zwar kann man mit folgenden durchschnittlichen Lebensdauern rechnen [20]:

| | |
|---|---|
| Buchenschwellen ..... | 3 Jahre, |
| Eichenschwellen ..... | 18 Jahre, |
| Kiefernschwellen ..... | 8 Jahre, |
| Lärchenschwellen ..... | 10 Jahre. |

Daher begann man bereits in den letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts, die Schwellen gegen Fäulnis zu schützen, und man fand als geeigneten Stoff hierfür das Teeröl. Da sich das einfache Anstreichen der Schwellen mit Teeröl als nicht genügend wirksam erwies, ging man dazu über, die Schwellen mit Teeröl unter Druck zu durchtränken nach dem bereits 1838 von *Bethell* in England patentierten Verfahren der Volltränkung, bei welchem die Schwellen zunächst bei 110°C künstlich getrocknet, dann in einem Tränkkessel 10 Minuten lang einem Unterdruck von 0,8 atü ausgesetzt, sodann zusammen mit dem 50° warmen Teeröl je nach der Holzart 30 bis 60 Minuten lang unter einen Druck von mindestens 7 atü gesetzt werden. Der Verbrauch an Teeröl ist bei diesem Verfahren außerordentlich hoch, nämlich für eine Buchen- oder Kiefernschwelle 30 kg und für eine Eichenschwelle 8,5 kg. Das Volltränkverfahren wurde im Laufe der Jahrzehnte auf verschiedene Weise abgewandelt und u.a. nach Vorschlägen von *Rütgers* mit Mischungen von Teeröl mit Chlor-Zink durchgeführt zur Ersparnis an Teeröl. Auch die Doppeltränkung wurde versucht, bei der in zwei Gängen zuerst Chlor-Zink und dann Teeröl eingepreßt wurden. Auch diese Verfahren befriedigten wirtschaftlich nicht, weil zwar einerseits die fäulniswidrige Wirkung des Teeröls die des Chlor-Zinks und ähnlicher Salze mindestens um das Dreifache übertraf, andererseits aber das Teeröl kostspielig war.

Hier brachte im Jahre 1902 das von *Wassermann* und *Rüping* ausgearbeitete Verfahren der *Sparränkung* eine Wendung, dessen Gedanke darin besteht, das nach dem Tränken in den Hohlräumen des Holzes befindliche überschüssige Teeröl wieder zurückzugewinnen. Dies erreicht man am wirksamsten durch die folgenden Verfahren [20, 29].

*a) Einfaches Rüping-Verfahren für Kiefernschwellen*

1. Luftdruck von 1,5 bis 4 atü herstellen und mindestens 5 Minuten halten.
2. Füllen des Tränkkessels unter Beibehaltung dieses Druckes mit Teeröl von 110° C.
3. Druck auf 7 atü steigern und 60 Minuten lang halten.
4. Teeröl ablassen.
5. Unterdruck von 0,8 atü herstellen und mindestens 10 Minuten lang halten.

Die gesamte Zeitdauer für diese Tränkung beträgt 3,25 Stunden, der Teerölverbrauch 63 kg je m³ Holz oder 6,6 kg je Schwelle der Form 1 und die Gesamtkosten rund 2,70 DM je Schwelle.

*b) Einfaches Rüping-Verfahren für Eichenschwellen*

1. Luftdruck von 0,5 bis 4 atü herstellen und mindestens 10 Minuten lang halten.
2. Füllen des Tränkkessels unter Beibehaltung dieses Druckes mit Teeröl von 110° C.
3. Druck auf 8 atü steigern und mindestens 180 Minuten lang halten.
4. Teeröl ablassen.
5. Unterdruck von mindestens 0,8 atü herstellen und mindestens 15 Minuten lang halten.

Die gesamte Zeitdauer für diese Tränkung beträgt 4,8 Stunden, der Teerölverbrauch 45 kg je m³ Holz oder 4,7 kg je Schwelle der Form 1 und die Gesamtkosten rund 2,75 DM je Schwelle.

*c) Doppel-Rüping-Verfahren für Buchenschwellen*

1. Luftdruck von 0,5 bis 4 atü herstellen und mindestens 15 Minuten lang halten.
2. Füllen des Tränkkessels unter Beibehaltung dieses Druckes mit Teeröl von 110° C.
3. Druck auf 8 atü steigern und mindestens 45 Minuten lang halten.
4. Teeröl ablassen.
5. Unterdruck von mindestens 0,8 atü herstellen und mindestens 30 Minuten lang halten.
6. Luftdruck von 2,5 bis 4 atü herstellen und mindestens 15 Minuten lang halten.
7. Füllen des Tränkkessels unter Beibehaltung dieses Druckes mit Teeröl von 110° C.
8. Druck auf 8 atü steigern und mindestens 180 Minuten lang halten.
9. Teeröl ablassen.
10. Unterdruck von 0,8 atü herstellen und mindestens 30 Minuten lang halten.

Die gesamte Zeitdauer für diese Tränkung beträgt 8 Stunden, der Teerölverbrauch 145 kg je m³ Holz oder 15,2 kg je Schwelle der Form 1 und die Gesamtkosten rund 5,00 DM je Schwelle.

Die Tränkkessel der bestehenden Anlagen fassen etwa 320 Schwellen der Form 1 oder 350 Schwellen der Form 2 und lassen einen größten Druck von 10 atü zu. Bei neuen Anlagen wird man wahrscheinlich zu höheren Drücken (etwa 16 atü Betriebsdruck) übergehen. Dadurch wird sich die Tränkdauer merklich herabsetzen und die Tränkleistung eines Kessels dementsprechend steigern lassen.

Eigenartigerweise ist seit der Einführung des Rüping-Verfahrens vor genau 50 Jahren in der Schwellentränkung trotz verschiedener Bemühungen kein Fortschritt mehr erzielt worden. Man hat z.B. versucht, eine gleichmäßige aber sparsame Durchtränkung des Holzes auf folgende Weise zu erzielen: Das Tränköl wird in einer geeigneten Flüssigkeit (Benzin, Azeton, Trichloräthylen oder dgl.) gelöst. Die Schwellen werden mit dieser Lösung voll getränkt und das Lösungsmittel wird danach durch Verdampfung wieder zurückgewonnen. Dieser Rückgewinn ist im Hinblick auf die Kostspieligkeit und Feuergefährlichkeit des Lösungsmittels nötig. Trotz großen Anstrengungen (Nowak-Verfahren) ist es nicht gelungen, auf dieser Grundlage ein wirtschaftlich und technisch befriedigendes Tränkverfahren zu entwickeln [20, 28]. Ferner hat man versucht, als Tränkmittel eine Emulsion aus Öl und Wasser zu benutzen. Nach dem Verdunsten des Wassers nach dem Tränken sollte die nötige Ölmenge fein verteilt im Holz zurückbleiben. Auf diese Weise war aber keine ausreichende Haftung des Öls im Holz zu erzielen. Daher hatten auch diese Versuche keinen Erfolg [20]. Neuerdings sind Bestrebungen im Gange, durch die Tränkung nicht nur einen Fäulnisschutz zu erzielen, sondern zugleich auch eine Kunstverharzung des Holzes, um dadurch dem Holz eine größere Festigkeit zu geben. Wenn dies gelänge, würde die Lebensdauer — besonders der Kiefernschwellen — möglicherweise erheblich verlängert werden; und dies wäre ein großer Fortschritt. Vorläufig kann aber über das Ergebnis dieser Versuche noch nichts gesagt werden.

Wie bereits im ersten Weltkriege stand auch während des zweiten Weltkrieges kein Teeröl für die Schwellentränkung zur Verfügung. Sechs Jahre lang mußten daher alle Holzschwellen mit Ersatzstoffen getränkt werden [41]. Als solche kamen in Betracht Fluornatrium, Flunax (eine Mischung von Fluornatrium und dem Natriumsalz von Xylenol), Chromarsensalze und Chlorzink. Das Tränkverfahren bei diesen Mitteln ist im wesentlichen das gleiche wie beim Teeröl. Die Wirkung bleibt aber weit hinter der Teeröltränkung zurück. Die mit diesen Ersatzstoffen getränkten Schwellen erreichen erfahrungsgemäß im Vergleich zu den mit Teeröl getränkten nur etwa folgende Lebensdauer [23]:

Buchenschwellen 40%,
Kiefernschwellen 60%,
Eichenschwellen 80%.

Danach ist die Salztränkung bei den Buchenschwellen am wenigsten wirksam. Bei den Eichenschwellen wird die Lebensdauer der ungetränkten Schwellen durch die Salztränkung nur um etwa 20% erhöht, so daß sich bei ihnen die Tränkung mit Ersatzstoffen kaum lohnt.

Im Bereich der DB wurden in den Kriegsjahren 1940 bis 1945 mindestens 5,5 Millionen Schwellen mit Ersatzstoffen getränkt und in Gleise eingebaut. Diese Schwellen werden im Laufe der nächsten Jahre in zunehmendem Maße abgängig werden und dadurch eine erhebliche zusätzliche Schwellenerneuerung erfordern, die für die DB eine schwere Belastung bedeuten wird. Die salzgetränkten Schwellen sind oft schon nach 10 Jahren innerlich völlig morsch, während sie äußerlich noch einen recht guten Eindruck machen. Wie ungünstig sie sich auswirken, zeigt die Entgleisung eines Wagens im Herbst 1951 auf einem Streckenabschnitt mit salzgetränkten Schwellen aus dem letzten Kriege. Dabei wurden auf 9 km Länge von dem entgleisten Wagen alle Schwellen zerbrochen, wodurch ein Schaden von mehreren hunderttausend Mark entstand.

Die Schwellenpreise steigen seit einem Jahre ständig. Zur Zeit muß man für Schwellen der Form 1 mit den Preisen nach der folgenden Tafel 4 (ohne Frachtkosten) rechnen.*)

*Tafel 4. Preise der Schwellen und der Teeröltränkung*

| Einzelteile | Preise in DM | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Buchenschwellen | | Kiefernschwellen | | Eichenschwellen | |
| | 1952 | 1939 | 1952 | 1939 | 1952 | 1939 |
| Rohschwelle | 21,0 | 5,8 | 21,6 | 6,0 | 25,0 | 8,3 |
| Tränkung einschließlich Teeröl | 5,0 | 2,5 | 2,7 | 1,4 | 2,7 | 1,4 |
| Getränkte Schwelle | 26,0 | 8,3 | 24,3 | 7,4 | 27,7 | 9,7 |
| Unterlagplatten und Schwellenschrauben f. K-Oberbau | 10,8 | 5,5 | 10,8 | 5,5 | 10,8 | 5,5 |
| Schwellenschrauben für H-Oberbau | 3,0 | 1,2 | | | 3,0 | 1,2 |
| Aufgeplattete Schwelle für K-Oberbau | 36,8 | 13,8 | 35,1 | 12,9 | 38,5 | 15,2 |
| Aufgeplattete Schwelle für H-Oberbau | 29,0 | 9,5 | | | 30,7 | 10,9 |

**6. Behandlung der Holzschwellen in den Schwellenlagern und Schwellenaufarbeitung**

Die DB kauft nur *ungetränkte* Schwellen, weil bei getränkten Schwellen eine Güteprüfung des Holzes nur schwer möglich ist. Die gekauften Schwellen werden nach besonderen Schwellenlagern [10] befördert und dort an Hand der technischen Lieferbedingungen [7] sorgfältig geprüft und endgültig abgenommen. Die DB betreibt 19 Schwellenlager, die alle in Verbindung mit einer *Tränkanstalt* stehen (16 privaten und 3 bundesbahneigenen). Die Schwellen werden zunächst für 4 bis 6 Monate zum Trocknen gestapelt. Dann werden vor dem Tränken die Plattenauflager abgehobelt und die Löcher für die Schwellenschrauben gebohrt, damit die Lochwandungen gut durchtränkt werden. Dann kommen die Schwellen in die Tränkanlage und am Schluß in die Aufplattanlage, in der die Rippenplatten für den Reichsbahnoberbau (K-Oberbau) aufgeschraubt werden. Unmittelbar aus dieser Anlage heraus werden sie mittels eines selbsttätigen Schrägaufzugs in einen Eisenbahnwagen verladen, der sie zur Verwendungsstelle bringt. Die Schwellen werden also in den Lagern in der Regel nur *einmal* gelagert.

*) Die in dieser Arbeit angegebenen Preise gelten für Januar 1952. Sie sind inzwischen merklich gestiegen.

Besondere Aufmerksamkeit wendet die DB der Aufarbeitung der altbrauchbaren Schwellen zu, durch welche die Lebensdauer der Schwellen erheblich verlängert wird. Früher blieben die Holzschwellen in den Gleisen der 1. Ordnung [37] nur 15 bis 20 Jahre liegen, um dann im Zusammenhang erneuert zu werden. Von den dabei ausgebauten Altschwellen waren etwa 80% nach Aufarbeitung noch wiederverwendungsfähig. Auf diese Weise standen stets genügend viele Altschwellen für die Gleise der 2. und 3. Ordnung zur Verfügung. Jetzt dagegen müssen die Schwellen wegen der Geldknappheit so lange wie irgend möglich — etwa 25 Jahre — in den Gleisen der 1. Ordnung liegenbleiben. Der Anteil, der dann bei den Schwellenerneuerungen ausgebauten noch gleisfähigen Altschwellen beträgt höchstens noch 50% und reicht für die Gleise der 2. und 3. Ordnung längst nicht aus. Für die Schwellenaufarbeitung verfügt die DB über 8 *Altschwellenlager*, in denen mit insgesamt 520 Arbeitern jährlich rund eine Million Schwellen aufgearbeitet werden können [10]. Die Anlagen arbeiten im Fließbetrieb. Die eingehenden Schwellen werden zunächst abgeplattet und nach Brennschwellen, Bauschwellen und noch gleisfähigen Schwellen ausgesondert. Diese werden dann nötigenfalls an den Köpfen gebunden, um das weitere Aufreißen zu vermeiden. Die Löcher werden verpflockt. Die Schwellen laufen dann durch die Hobelmaschine und werden anschließend je nach ihrem Zustand und Verwendungszweck gebohrt, verdübelt, mit Unterlagplatten versehen und anschließend zum Versand auf einen Eisenbahnwagen befördert.

Die Kosten für das Aufarbeiten einer Schwelle einschließlich aller Nebenkosten betragen 2 bis 3 DM. Wenn man bedenkt, daß die aufgearbeiteten Schwellen noch weitere 10 bis 20 Jahre in Gleisen der 2. oder 3. Ordnung liegen, so kann über die Wirtschaftlichkeit der Schwellenaufarbeitung bei den Verhältnissen, wie sie in Deutschland bestehen, kein Zweifel aufkommen.

#### 7. Verlegen der Holzschwellen

Die aus dem Schwellenlager kommenden Schwellen werden ohne weitere Zwischenlagerung auf der Strecke neben dem zu erneuernden Gleis abgeladen und dann entweder ohne Betriebsunterbrechung nach dem Klotzverfahren [7] einzeln unter den Schienen eingezogen oder bei gesperrtem Gleis auf die durch Walzen oder Stampfen vorbereitete Bettung verlegt. Die genaue Höhenlage wird dann nach dem Zusammenbau des Gleises durch Stopfen hergestellt. Man hat versucht, die Holzschwellen in derselben Weise wie die Stahlschwellen nach dem *Füllformverfahren* [7] zu verlegen. Zu diesem Zweck werden zunächst beiderseits des Gleises Lehrschienen genau in der Höhenlage des künftigen Gleises verlegt. Die Bettung wird auf einer Höhe von etwa 5 cm unter der endgültigen Schwellenunterkante abgeglichen. Auf die Lehrschienen werden Füllformen aufgesetzt, und in diese wird das Auflagerbett für jede Schwelle in genauer Höhe eingestampft. Sodann werden die Schwellen nach Abheben der Füllformen aufgelegt. Durch dieses Verfahren glaubte man auch bei den Holzschwellen die Stopfarbeit ersparen zu können. In der Nähe von München wurde im Jahre 1926 ein 6 km langer Gleisabschnitt auf diese Weise erneuert. Das Verfahren hat sich nicht durchsetzen können, weil die Holzschwellen nicht auf das Millimeter genau gleich hoch sind. Wollte man dies bei der Schwellenbeschaffung fordern, so würden die Schwellen merklich teurer werden. Aber schon Schwankungen von einigen mm in der Schwellenhöhe stören die gleichmäßige Schwellenauflagerung derartig, daß man ohne Nachstopfen nicht auskommt. Dadurch wird aber das ganze Verfahren nahezu wertlos. Aus demselben Grunde dürfte es auch wenig Wert haben, die Holzschwellen mit besonderen Verlegegeräten in derselben Weise wie die Stahlbetonschwellen zu verlegen (vgl. Abschnitt IV. 4).

### III. Die Stahlschwelle

#### 1. Technische Eigenschaften der Stahlschwellen

Die Stahlschwellen haben folgende *Vorzüge*:

a) Sie gewährleisten eine genaue und dauerhafte Spurhaltung.

b) Wo keine ungünstigen Luftverhältnisse vorliegen, hat die Stahlschwelle eine etwas längere durchschnittliche Lebensdauer als die Holzschwelle.

c) Die Stahlschwelle wird nicht durch Insektenfraß oder andere biologische Einflüsse zerstört.

d) In der Formgebung der Stahlschwelle hat man weitgehend freie Hand.

e) Die trogförmige Stahlschwelle umfaßt den Bettungskern und leistet daher größten Widerstand gegen Verschieben in der Längs- oder Querrichtung des Gleises.

f) Aus den ausgebauten Stahlschwellen können durch Aufarbeitung etwa zwei Drittel wiederverwendungsfähige Altschwellen gewonnen werden.

g) Die nicht mehr aufarbeitungsfähigen Stahlschwellen können günstig als Nutzeisen verkauft werden und die Abfälle bei der Aufarbeitung als Schrott.

h) Stahlschwellen waren früher in beliebigen Mengen zu bekommen.

Diesen Vorzügen der Stahlschwellen stehen folgende Nachteile gegenüber:

a) Die Stahlschwellen sind bei technisch und wirtschaftlich vergleichbarer Ausführung leichter als die Holzschwellen. Z. B. wiegt die Stahlschwelle Sw 7 des Oberbaus K 49 einschließlich aufgeschweißter Unterlagplatte 84,71 kg, und die entsprechende Holzschwelle des Oberbaus K 49 wiegt nach Tafel 3 je nach der Holzart 93 bis 123,5 kg, d. i. 10 bis 46% mehr. Das größere Gewicht gewährleistet aber eine ruhigere Gleislage.

b) Das Fahren auf Stahlschwellen ist geräuschvoller als auf Holzschwellen, und zwar beträgt nach den Messungen der Arbeitsgemeinschaft für Schallbekämpfung der DB der Unterschied gegenüber den Holzschwellen 2 bis 10 Phon bei Geschwindigkeiten von 50 bis 120 km/h.

c) Das Verlegen und Unterhalten der Stahlschwellen ist teurer als das der Holzschwellen, und zwar sind folgende Mehrkosten ermittelt worden [19]: für die Verlegung 22% und für die Unterhaltung 15%.

d) Das Aufarbeiten der Stahlschwellen ist teurer als das der Holzschwellen (10 DM gegenüber 2,50 DM).

e) In Industriegegenden neigen die Stahlschwellen durch chemische Einflüsse in der Luft stark zum Rosten und erreichen infolgedessen keine lange Lebensdauer. Das gleiche gilt für Gegenden mit ständig feuchter und salzhaltiger Luft (in der Nähe der See).

f) Die Stahlschwellen stellen eine stromleitende Verbindung der beiden Gleisschienen dar, während die neue Signaltechnik jetzt mehr und mehr die gegenseitige Isolierung der Schienen verlangt (elektrischer Selbstblock- und Gleisfreimeldeanlagen usw.). Das Isolieren der Schienen auf den Stahlschwellen wäre aber baulich und unterhaltungstechnisch so kostspielig, daß es nicht in Betracht kommt.

Wegen dieser Nachteile erfreuen sich die Stahlschwellen bei den meisten Eisenbahnverwaltungen geringerer Beliebtheit als die Holzschwellen. Daß sie in Deutschland nach dem ersten Weltkriege in so großem Umfange (50%) beschafft wurden, hatte keine technischen und oberbauwirtschaftlichen Gründe, sondern geschah aus volkswirtschaftlichen und wirtschaftspolitichen Erwägungen. Die Holzschwellen mußten nämlich zum Teil vom Auslande eingeführt werden, während die deutsche Stahlindustrie Absatz für ihre Erzeugnisse suchte. Rein technisch gesehen, bevorzugte die Reichsbahn die Holzschwelle und verwendete die Stahlschwellen in so großem Umfang nicht wegen ihrer Vorzüge, sondern vielmehr trotz ihrer Nachteile. Ihre Anwendung geschah auch nur mit gewissen Einschränkungen: Sie durfte nicht eingebaut werden in Gleisen der Sonderklasse (internationale Fern-D-Zugstrecken), in Industriegebieten (z.B. Ruhrgebiet), in zu isolierenden Gleisabschnitten, an Bahnsteigen und in Wegübergängen.

In holzarmen Ländern und in südlichen Ländern mit holzzerstörenden Insekten (besonders Termiten) kann dagegen die Stahlschwelle große Vorzüge gegenüber der Holzschwelle bieten und wird infolgedessen dort auch mit bestem Erfolg angewendet. Desgleichen ist sie auf sehr bogenreichen Strecken wegen der guten Spurhaltung vorteilhaft.

Einen einwandfreien wirtschaftlichen Vergleich zwischen Holz- und Stahlschwelle zu ziehen, ist kaum möglich, weil schwer zu sagen ist, welche Schwellenarten man als technisch gleichwertig ansehen soll und weil sowohl die Holz- wie die Stahlschwellen großen und verschiedenen Preisschwankungen unterworfen sind. Bei dem jetzigen Preis von rund 407 DM/t würde die 84,71 kg schwere Stahlschwelle des K-Oberbaus mit aufgeschweißten Unterlagplatten etwa 34,50 DM kosten. Wie die Tafel 4 zeigt, liegt dieser Preis etwas unter den Holzschwellenpreisen für den K-Oberbau.

In Deutschland zwang die große Stahlknappheit schon vor dem Beginn des letzten Krieges dazu, die Beschaffung von Stahlschwellen ganz einzustellen. Sie ist seitdem nicht wieder aufgenommen worden und wird voraussichtlich auch in Zukunft nicht wieder aufleben.

**2. Abmessungen der Stahlschwellen**

Ursprüngliche Versuche, den Stahlschwellen Doppel-T-Trägerquerschnitt zu geben (Carnegie-Schwelle) [33] wurden bald wieder aufgegeben, weil solche Schwellen nicht fest genug in der Bettung lagen. Auch der Trapez-Querschnitt wurde bereits im vorigen Jahrhundert wieder verlassen. Jetzt wird fast nur noch die gewalzte Querschwelle mit trogförmigem Querschnitt benutzt (Abb. 11). Einzelstützen aus Gußstahl scheinen nur noch in Indien gebräuchlich zu sein. Das Walzverfahren legt der freien Formgebung allerdings insofern gewisse Fesseln auf, als sich durch den Walzvorgang zunächst ein gleichbleibender Querschnitt über die ganze Schwellenlänge ergibt, während es durchaus erwünscht wäre, wenn der Querschnitt an den am stärksten beanspruchten Stellen (unter den Schienen) größer wäre als an den Enden oder in der Mitte der Schwelle. Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, derartige Verstärkungen durch nachträgliche Verformung zu erzielen [33]. Doch konnten diese Bestrebungen sich nicht allgemein durchsetzen, weil sie technisch schwierig durchführbar und dementsprechend kostspielig sind.

Während die Abmessungen der Holzschwellen seit Jahrzehnten im wesentlichen unverändert festliegen, wurden bei den Stahlschwellen unaufhörlich Verbesserungen versucht. Dadurch sind im Laufe der Zeit Dutzende von verschiedenen Schwellenformen entstanden. Diese dauernden Bemühungen zeigen deutlich, daß die Stahlschwelle nie ganz zu befriedigen vermochte, sondern immer gewisse in ihrer Natur liegende Mängel zeigte, die man abzustellen versuchte. Schon die Aufnahme des größten Biegemoments unter dem Schienenfuß bereitete Schwierigkeiten, wenn man nicht zu unwirtschaftlich starken Schwellenquerschnitten übergehen wollte [46]. Um das Biegemoment möglichst klein zu halten, ging man daher mit der Schwellenlänge auf 2,5 m herunter, wodurch der Überstand der Schwelle über die Schienenmitte auf 50 cm herabgesetzt wurde und dementsprechend auch die wirksame Auflagerfläche auf 5000 cm² gegenüber 5700 cm² bei der 260 cm langen Holzschwelle der Form 1. Bei den Stoßschwellen, die als Doppelschwellen (Breitschwellen) mit besonderem Querschnitt ausgebildet wurden (Abb. 11), behielt man zur Erzielung einer besseren Stoßlage die Schwellenlänge von 2,6 m bei. Abb. 11 zeigt den Querschnitt der Mittelschwelle (Sw 7) und der Breitschwelle (Sw 11) des Reichsbahnoberbaus K 49. Diese Schwellen wiegen mit aufgeschweißten Unterlagplatten 84,71 und 145,54 kg.

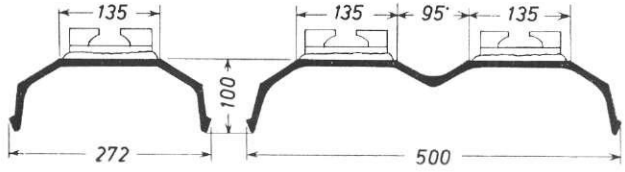


*Abb. 11. Mittel- und Stoßschwelle des Reichsbahnoberbaus*

Die folgende Tafel 5 gibt die Gewichte und Abmessungen der wichtigsten Stahlschwellen. Ein Hauptmangel der Stahlschwellen war die Lochung zur Anbringung der Schienenbefestigung. Denn an den Lochrändern bilden sich im Laufe der Zeit leicht Risse, und diese führen nach und nach zur Zerstörung der Schwelle. Man versuchte daher vom Lochen der Schwellen abzukommen, und hier bot sich nach der Entwicklung des Reichsbahnoberbaus K 49 für Holzschwellen eine Lösung dadurch, daß man die Rippenplatten, die beim Holzoberbau aufgeschraubt werden, auf die Stahlschwellen aufschweißte. Die Platten konnten selbstverständlich viel kleiner und leichter gehalten werden (2,81 statt 8,46 kg), und die Schienenneigung 1 : 20 wurde — wie allgemein bei den Stahlschwellen — durch die Form der Schwellen hergestellt und nicht durch keilförmige Gestaltung der Platten. Beim Umarbeiten von stählernen Altschwellen dagegen werden diese meist mit ebener Oberfläche gepreßt, und es werden dann keilförmige Unterlagplatten mit 3,29 kg Gewicht aufgeschweißt, welche die Schienenneigung 1 : 20 ergeben.

Das Aufschweißen der Platten hat sich im allgemeinen gut bewährt. Nur auf besonders stark belasteten Strecken kommt es vor, daß durch die Einwirkung des Betriebs sich die aufgeschweißten Platten lösen. Restlos hat daher das Aufschweißen der Platten auch nicht befriedigen

können [21], und man versuchte davon loszukommen. In den dreißiger Jahren wurden Schwellen entwickelt und in großem Umfang eingebaut, bei denen aus der Schwellendecke Rippen herausgepreßt wurden, welche die übliche K-Befestigung gestatteten (M-Oberbau). Dieser Versuch erwies sich als ein Fehlschlag; denn schon jetzt, nach etwa 15jähriger Liegedauer, zeigen die meisten dieser Schwellen Risse an den Schienenauflagern; sie werden daher rasch der Zerstörung anheimfallen.

#### 3. Aufarbeiten von Stahlschwellen

Ein wirksames Aufarbeiten von Stahlschwellen wurde erst durch die Entwicklung der Schweißtechnik möglich. Die Schwellen werden oft an den Schienenauflagern zerstört, während die übrigen Teile noch brauchbar sind. Man schneidet jetzt die noch brauchbaren Abschnitte aus den Altschwellen heraus und schweißt sie zu einer altbrauchbaren Schwelle zusammen, wobei auf eine aufgearbeitete Schwelle eine bis drei Schweißungen entfallen. Sie werden dann gepreßt und je nach der weiteren Verwendung gelocht oder mit aufzuschweißenden Platten versehen. Eine derartige Aufarbeitung kostet durchschnittlich 10 DM je Schwelle; sie wird in Privatwerken und in Ausbesserungswerken der DB ausgeführt und hat sich vorzüglich bewährt, weil dadurch ein großer Teil des Schwellenstahls, der sonst in den Schrott wandern würde, für die Gleise wieder nutzbar gemacht wird [27].

## IV. Die Betonschwelle

#### 1. Neuere Entwicklung

Nachdem in den ersten Jahrzehnten des Eisenbahnwesens Schwellen aus Stein sowohl als Einzelstützen wie als durchgehende Querschwellen ausnahmslos zu Mißerfolgen geführt hatten, schien der Stein als Schwellenbaustoff nicht mehr in Betracht zu kommen. Mit der Entwicklung des Stahlbetons kam die Sache jedoch auf einen neuen Stand. Die guten Erfahrungen, die man in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts mit Stahlbeton im Hoch- und Brückenbau machte, berechtigten zu der Hoffnung, daß es gelingen würde, brauchbare Eisenbahnschwellen aus Stahlbeton herzustellen. Diese Hoffnung wurde allerdings zunächst enttäuscht. Wenn der

*Tafel 5. Übersicht über die häufigsten Stahlschwellen. In Spalte 3 bedeutet (M) Mittelschwelle und (S) Stoßschwelle*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Verwaltung | Oberbauform | Bezeichnung | Länge | Querschnittsfläche | Gewicht für 1 Stück | Gewicht je lfd. m. | Trägheitsmoment | Widerstandsmoment |
| | | | | cm | $cm^2$ | kg | kg/m | $cm^4$ | $cm^3$ |
| 1 | Preußen-Hessen | B (M) | Sw 1 | 250 | 37,13 | 78,03 | 29,15 | 339 | 49 |
| 2 | | B (S) | Sw 2 | 250 | 61,65 | 129,30 | 48,30 | 445 | 60 |
| 3 | | K (M) | Sw 7 | 250 | 36,75 | 78,92 | 28,85 | 344 | 51 |
| 4 | | K (M) | Sw 7a | 250 | 38,75 | 77,81 | 30,42 | 354 | 52 |
| 5 | | K (S) | Sw 11 | 260 | 60,19 | 133,96 | 47,25 | 436 | 58 |
| 6 | | 6/8 (M) | 51 | 270 | 25,90 | 58,30 | 20,33 | 148 | 29 |
| 7 | | 8/15 (S) | 66 | 270 | 57,30 | 128,02 | 44,98 | 233 | 42 |
| 8 | | 8/15 (M) | 71 | 270 | 27,94 | 62,39 | 21,93 | 159 | 30 |
| 9 | | 8/15 (M) | Sw 5 | 250 | 31,15 | 65,01 | 24,50 | 203 | 34 |
| 10 | | 8/15 (S) | Sw 6 | 250 | 54,74 | 114,35 | 43,00 | 221 | 40 |
| 11 | Bayern | VIII (M) | VIII | 240 | 26,46 | 51,20 | 20,77 | 144 | 26 |
| 12 | | II / IX (M) | II / IX | 250 / 270 | 31,04 | 65,50 / 70,60 | 24,40 | 212 | 34 |
| 13 | | X (M) | X | 270 | 32,07 | 72,50 | 24,95 | 234 | 38 |
| 14 | Württemberg | D (M) | IIIa | 250 | 25,40 | 52,00 | 19,94 | 135 | 26 |
| 15 | | D (M) | IIIb | 250 / 270 | 25,80 | 54,80 / 58,90 | 20,25 | 150 | 29 |
| 16 | | E (M) | IV | 270 | 33,00 | 75,00 | 25,90 | 268 | 41 |
| 17 | | E (M) | VII | 270 | 28,00 | 62,40 | 21,98 | 163 | 31 |
| 18 | | E (S) | VI | 270 | 57,00 | 128,10 | 44,75 | 230 | 41 |
| 19 | Baden | 129 (M) | 1891 | 225 | 28,50 | 54,00 | 22,37 | 136 | 26 |
| 20 | | 140 (M) | 1893 | 240 | 34,20 | 70,00 | 26,64 | 302 | 44 |
| 21 | Schweiz | (M) | I | 255 | 32,05 | 68,05 | 25,16 | 256 | 41 |
| 22 | | (S) | I | 255 | 54,74 | 116,10 | 43,00 | 221 | 40 |

Stahlbeton sich auch bei Bauteilen, die auf Biegung beansprucht wurden, durchaus bewährte, so versagte er dennoch bei der Eisenbahnschwelle; denn bei dieser handelt es sich um Beanspruchungen wesentlich anderer Art als im Hoch- und Brückenbau. Die auf Biegung beanspruchten Platten, Balken usw. im Hoch- und Brückenbau unterliegen nämlich nicht in demselben Maße wie die Schwelle einer ständig wechselnden Beanspruchung. Ferner sind bei ihnen die Lasten mehr verteilt und das Verhältnis von der Last zum Eigengewicht der tragenden Bauglieder ist viel kleiner als bei der Schwelle, wo dem plötzlich auf kleiner Fläche auftretenden Druck der beiden Schienen von je 4 t ein Gesamtgewicht der Schwelle von nur etwa 0,2 t gegenübersteht. Es ist daher nicht verwunderlich, daß der gewöhnliche Stahlbeton versagte. Wenn man den Betonquerschnitt und die Stahlbewehrung auf Grund einer sorgfältigen Spannungsberechnung nach den üblichen Regeln der Stahlbetonbauweise bemaß, so gingen die Schwellen im Betrieb bereits nach kurzer Zeit zu Bruch. Sollten sie aber den Betriebsbeanspruchungen auf die Dauer standhalten, so mußte man den Betonquerschnitt und die Stahlbewehrung sehr reichlich bemessen. Damit wurden sie aber derartig schwer und teuer, daß sie mit der Holz- oder Stahlschwelle nicht mehr erfolgreich in Wettbewerb treten konnten. Man erkannte, daß eine Querschwelle aus gewöhnlichem Stahlbeton wirtschaftlich nicht zu verwirklichen war, und griff infolgedessen wieder auf den alten Gedanken der Einzelstützen aus den Anfängen des Eisenbahnwesens zurück.

Bei den Einzelstützen lassen sich nämlich die Biegemomente erheblich kleiner halten, und infolgedessen kann man mit geringerem Aufwand einen rissefreien Beton erzielen. Zahlreiche Vorschläge dieser Art wurden im Laufe der Zeit gemacht und verschiedene von ihnen versuchsweise ausgeführt. Alle Einzelstützen haben aber folgende Nachteile: Verzichtet man auf biegungsfeste Spurstangen, so besteht die Gefahr, daß sich im Laufe der Zeit unter der Einwirkung des Betriebs die Einzelstützen gegeneinander verkanten, wodurch unzulässige Veränderungen der Spurweite entstehen können. Solche Schwellen erfordern daher vermehrte Überwachung und erhöhte Unterhaltungskosten. Bildet man aber die Spurstangen biegungssteif aus, so werden die Schwellen ziemlich schwer und teuer. Ferner sind Einzelstützen beim Verlegen unbequemer als Querschwellen. Außerdem besteht bei Einzelstützen die Gefahr, daß bei einer Entgleisung ein entgleistes Rad die Spurstangen zerschlägt, das Gleis dadurch völlig aus seinem Gefüge kommt und infolgedessen alle nachfolgenden Fahrzeuge entgleisen, wodurch die Aufgleisung ungeheuer langwierig und kostspielig wird und der oberbautechnische Schaden außerordentlich groß, wogegen bei einer geeigneten Querschwelle das Gleis durch eine Entgleisung nicht aus seinem Gefüge kommen kann. Die Deutsche Reichsbahn war daher gegenüber allen Bauarten mit Einzelstützen sehr zurückhaltend und hat nur wenige Versuche damit durchgeführt.

Mit der Entwicklung des Spannbetons und des Rüttelverfahrens bei der Betonherstellung in den zwanziger Jahren schien die Betonquerschwelle erneut in den Bereich des Möglichen zu rücken. Jedoch ging die Deutsche Reichsbahn nur sehr zögernd an Versuche heran wegen der entmutigenden Erfahrungen, die bis dahin mit Betonschwellen gemacht worden waren, und weil damals die Deckung des Schwellenbedarfs in Holz und Stahl keinerlei Schwierigkeiten bereitete und zudem die Stahlbetonschwellen in der Beschaffung teurer waren. Erst der Krieg gab den entscheidenden Anstoß zu einem Fortschritt. Der völlige Ausfall der Stahlschwellen und die zunehmende Holzverknappung ließen die ausreichende Schwellenversorgung der Deutschen Reichsbahn auf dem bisherigen Wege für die Zukunft aussichtslos erscheinen. Die Forstverwaltung wies ständig eindringlich auf die schlechten Aussichten für die Holzschwellenbeschaffung hin und drängte die Eisenbahn, nach einem Ersatzstoff zu suchen. Als solcher konnte aber nur der Stahlbeton in Frage kommen. Angesichts dieser Lage wurde im Jahre 1942 der Entschluß gefaßt, die Frage der Stahlbetonschwellen mit allen Mitteln zu klären. Günstig wirkte dabei der Umstand, daß im Kriege Wirtschaftlichkeitserwägungen nur eine untergeordnete Rolle spielten; es galt vielmehr, zunächst einmal die technischen Möglichkeiten der Betonschwelle zu untersuchen. Die Reichsbahn setzte eine Arbeitsgemeinschaft ein, die aus maßgebenden Vertretern der Zement-, Stahl-, Stahlbetonindustrie und aus Hochschulprofessoren bestand. Die Arbeiten wurden nach dem Kriege, als die Holzschwellenversorgung noch schwieriger wurde als je zuvor, mit aller Tatkraft fortgesetzt. Durch diese Anstrengungen gelang in wenigen Jahren, worum man sich zuvor jahrzehntelang vergeblich bemüht hatte [22, 24, 25].

**2. Bauart der Betonschwellen**

Versuche mit Schwellen aus gewöhnlichem, schlaff bewehrtem Stahlbeton wurden nur nebenher in geringem Umfang vorgenommen, desgleichen mit Betoneinzelstützen. Das Ziel war und blieb die Querschwelle. Da der *Stahlsaitenbeton* zunächst den sichersten Erfolg versprach, wurden mehrere Arten solcher Schwellen entwickelt und verlegt. Abb. 12 zeigt als Beispiel die Bauart B 4. Ihre Abmessungen, Gewichte usw. sind aus der Tafel 6 (Spalte 2) zu ersehen. Als Bewehrung

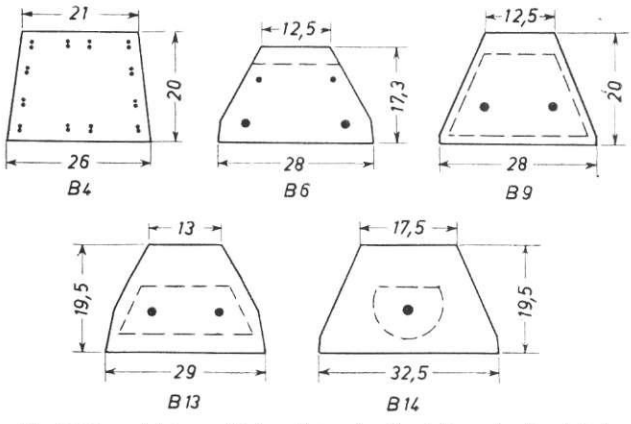


*Abb. 12. Querschnitte verschiedener Betonschwellen d. Deutschen Bundesbahn*

dienen kalt gezogene Stahldrähte mit sehr hoher Festigkeit von rundem oder ovalem Querschnitt, teils als Einzeldrähte, teils zu je zwei miteinander verdrillt. Die Höhe der Drahtspannung, die Anzahl der Drähte und die Form des Schwellenquerschnitts wurden bei den Versuchen mannigfaltig abgewandelt, um die günstigsten Verhältnisse zu ergründen.

Die Schienenbefestigung wurde, soweit sich bis jetzt übersehen läßt, zufriedenstellend gelöst durch einbetonierte *Wellendübel* aus getränktem Hartholz, in welche gewöhnliche Holzschwellenschrauben eingedreht werden. Wahrscheinlich werden diese Dübel eine recht lange Lebensdauer erreichen. Gegebenenfalls können sie leicht gegen zweiteilige Wellendübel ausgewechselt werden. Man könnte natürlich auch statt der Holzdübel einbetonierte Gußeisen- oder Preßstoffhülsen benutzen. Wenn diese jedoch im Laufe der Jahrzehnte aus irgendwelchen Gründen unbrauchbar würden, ließen sie sich nicht auswechseln, und die ganze Schwelle würde damit unbrauchbar werden. Abgesehen davon, sind solche Hülsen teurer als die Dübel. Die Schienen werden teils mit, teils ohne Zwischenschaltung von Unterlagplatten aufgeschraubt. Stets aber wird eine 5 mm starke Pappelholzzwischenlage unter den Schienenfuß gelegt oder bei stark belasteten Gleisen eine Gummizwischenlage. Bei allen Betonschwellen der DB wird diese Schienenbefestigung angewendet.

Mit dieser Schwelle B 4 sind viele km Gleis auf stark belasteten Strecken gebaut worden, und die Erfahrungen damit waren bisher durchaus gut. Die Entgleisung eines Wagens auf einem solchen Gleisabschnitt hat ihre Dauerhaftigkeit auch für derartige Fälle bewiesen: Die entgleisten Räder eines schweren beladenen Wagens rollten auf eine Länge von 700 m über die Betonschwellen und verursachten dabei an ihnen nur geringe Schäden, so daß jetzt nach über 4 Jahren noch keine von diesen Schwellen ausgewechselt zu werden brauchte.

*Tafel 6. Übersicht über die wichtigsten Betonschwellen der DB*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Schwellenbezeichnung | B 4 | B 6 | B 9 | B 13 | B 14 |
| 2 | Länge (cm) | 250 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| 3 | Auflagerbreite (cm) | 26 | 28 | 28 | 29 | 32,5 |
| 4 | Größte Höhe (cm) | 20 | 17,3 | 20 | 19,5 | 19,5 |
| 5 | Kleinste Höhe (cm) | 20 | 14 | 15 | 9,5 | 9,2 |
| 6 | Gewicht der Stahlbewehrung (kg) | 4,6 | 12,2 | 11,8 | 11,8 | 7,4 |
| 7 | Schwellengewicht (kg) | 270 | 205 | 200 | 170 | 165 |
| 8 | Gesamte Spannkraft (t) | 19 | 22 | 24 | 26 | 16 |
| 9 | Gesamte Auflagerfläche ($cm^2$) | 6 500 | 4 500 | 4 500 | 4 500 | 4 700 |
| 10 | Kosten der Schwelle (DM) | | | 27,50 | 27,50 | 23,25 |

*Bemerkungen zur vorstehenden Tafel*

Zu Zeile 4: Die größte Höhe weisen die Schwellen in der Nähe des äußeren Schienenfußrandes auf.

Zu Zeile 5: Die kleinste Höhe ist im Bereich der Schwellenmitte vorhanden.

Zu Zeile 6: Die Zahlen enthalten das Gewicht aller Stahlteile, die bei der Herstellung der Schwelle einbetoniert werden, nicht aber das Gewicht der Schrauben, Federringe, Klemmplatten und etwaiger Unterlagplatten.

Zu Zeile 7: Die Zahlen geben das gesamte Schwellengewicht einschließlich aller Stahl- und Holzteile, die bei der Herstellung der Schwelle einbetoniert werden, nicht aber der später aufgebrachten Befestigungsmittel, wie Schrauben, Federringe, Klemmplatten und etwaiger Unterlagplatten.

Zu Zeile 8: Es ist die Spannkraft angegeben, die bei Berücksichtigung des Betonschwindens und des Stahlkriechens als dauernd wirksame Spannkraft übrig bleiben soll. Die tatsächlich aufgebrachten Vorspannungen sind etwas größer.

Zu Zeile 9: Es ist die planmäßige Auflagerfläche angegeben, d. h. unter Berücksichtigung einer Bettungsmulde von etwa 70 cm Breite im mittleren Teil der Schwelle, in deren Bereich die Schwelle nicht aufliegen soll.

Zu Zeile 10: Sie enthält den Preis einschließlich aller Teile, die bei der Herstellung der Schwelle einbetoniert werden, nicht aber die Kosten der später aufzubringenden Befestigungsmittel (vgl. Zeile 7). Da die Preise Schwankungen unterworfen sind, können die Zahlen nur einen gewissen Anhalt geben.

Ein Nachteil der Stahlsaitenbetonschwelle ist, daß zu ihrer wirtschaftlichen Herstellung kostspielige große Hallen mit langen Spannbetten nötig sind. Ihre Errichtung war aber sowohl im Kriege als auch in den ersten Nachkriegsjahren kaum zu verwirklichen. Vor allem aus diesem Grunde wandte sich die DB wieder vom Stahlsaitenbeton ab und dem Stahlbeton mit vorgespannten Rundstählen zu. Dabei kann man mit billigen Einzelschalungen in kleineren Räumen arbeiten und das Einrütteln des Betons auf Rütteltischen leicht durchführen. Nach zahlreichen Versuchen mit verschiedenen Schwellenformen und Bewehrungsarten, wobei auch wieder schlaff bewehrte Schwellen und Einzelstützen in den Bereich der Betrachtung gezogen wurden, wählte man für die Herstellung im großen folgende Schwellenarten:

a) Die Schwelle B 6 nach Abb. 12b mit vier Rundstahleinlagen von 16 und 10 mm Durchmesser, die an den Enden mit Rundscheiben verankert sind und in der Schalung vor dem Betonieren vorgespannt werden. Die Schwellenabmessungen, -gewichte usw. sind aus Tafel 6 (Spalte 3) zu ersehen.

b) Die Schwellen B 9 und B 13 nach Abb. 12 (Bauart Dr. *Karig*) mit nur zwei Rundstahleinlagen von 18 mm Durchmesser, die an den Enden mit Rundscheiben verankert sind. Die beiden Stahleinlagen werden durch Eintauchen in flüssiges Bitumen glatt gemacht und spannungslos einbetoniert. Erst einige Zeit nach dem völligen Erhärten des Betons werden sie in zwei Stufen mit besonderen Geräten gespannt. Die Abmessungen, Gewichte usw. dieser Schwellen sind aus Tafel 6 (Spalte 4 und 5) zu ersehen. Diese Bauart hat folgende Vorzüge: Die Schalungen brauchen keine Spannkräfte aufzunehmen und können daher leichter und billiger sein. Außerdem benötigt man weniger Schalungen, weil man früher ausschalen kann, da der Beton zunächst noch keine Druckkräfte aufzunehmen braucht. Die gewünschte Spannung kann ganz genau und sicherer erzielt werden. Nötigenfalls kann später nachgespannt werden. Diese Schwellenart ist in verschiedenen Abmessungen hergestellt worden. Von ihnen wurden in den letzten Jahren über ½ Millionen Stück in stark belasteten Gleisen verlegt. Sie haben sich bisher gut bewährt.

c) Als etwas leichtere und billigere Schwelle für schwächere Belastung (Nebenbahnen) wurde noch die Schwelle B 14 nach Abb. 12 entwickelt, die aus drei Teilen zusammengesetzt wird und nur *eine* Spannstange hat, die wie bei der Bauart b erst nach dem Erhärten des Betons gespannt wird. Diese Schwelle wird zur Zeit in geringem Umfang versuchsweise eingebaut. Ihre Abmessungen, Gewichte usw. sind aus Tafel 6 (Spalte 6) zu ersehen.

Auch im Ausland hat man sich in den letzten Jahren ernstlich um die Stahlbetonschwelle bemüht, besonders in Belgien, England und Frankreich [1, 2, 14, 17, 26, 40]. In Belgien wird die Schwelle der Bauart Franki-Bagon hergestellt, welche — ähnlich wie die Schwelle B 14 — aus drei Teilen zusammengesetzt wird. In Frankreich wurden in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Schwellenarten erprobt (z. B. die Bauarten Freyssinet, Orion, Vagneux), und neuerdings wird die Bauart SNCF-RS

(Sonneville) in größerem Umfange verlegt, die der Vagneux-Schwelle ähnlich ist [40]. Sie besteht aus zwei Betonblöcken, die miteinander verbunden sind durch ein aus alten Schienen hergestelltes, etwa 190 cm langes Walzeisen von T-Querschnitt, das fast bis an die Außenenden der Blöcke durchläuft. Die Blöcke sind 72 cm lang und unter der Schiene 30 cm breit und 20 cm hoch. Das Gewicht der Schwelle beträgt 170 kg und die Gesamtauflagerfläche 3670 cm²; das ist erheblich weniger als bei den Betonschwellen der DB (vgl. Tafel 6, Zeile 6). Diese Schwelle kann man kaum noch als Querschwelle bezeichnen; es handelt sich bei ihr vielmehr um zwei Einzelstützen, die biegungssteif miteinander verbunden sind. In *England* werden in großem Umfang Stahlsaitenbetonschwellen der Bauart *Dow-Mac* hergestellt und verlegt [1, 2]. Sie sind 259 cm lang und unter der Schiene 25,4 cm breit und 16,5 cm hoch und wiegen etwa 220 kg. Die gesamte wirksame Auflagerfläche beträgt 5500 cm². Die Schienen werden entweder auf Unterlagplatten mit Klemmplatten befestigt oder auf Gußstühlen mit Keilen. Diese Schwelle ähnelt der deutschen Schwelle B 4 (Tafel 6, Spalte 2); sie ist aber um etwa 50 kg leichter.

### 3. Technische Eigenschaften der Betonschwellen

Die Stahlbetonschwellen haben folgende *Vorteile*:

a) Die Beschaffung und der Preis der Schwellen hängen weniger von Konjunkturschwankungen ab als bei Holz- oder Stahlschwellen. Der Stahlverbrauch ist gering; die Beibringung des Zements und der Zuschlagstoffe in den nötigen Mengen bereitet erfahrungsgemäß keine besonderen Schwierigkeiten.

b) Das Gewicht der Betonschwelle ist erheblich höher als das der Holz- und Stahlschwellen. Dadurch ergibt sich eine festere und ruhigere Gleislage und eine Verminderung der Unterhaltungskosten.

c) Infolge der geringeren Einsenkung der Betonschwellen unter den rollenden Lasten ist der Laufwiderstand der Züge geringer als bei Holz und Stahlschwellen. In Frankreich ist angeblich eine Verminderung von 20% gemessen worden [40].

d) Bei den schweren Betonschwellen sind Gleisverwerfungen durch Wärmespannungen weniger zu befürchten. Daher hat die DB auf verschiedenen Strecken mit Betonschwellen durchgehend geschweißte Gleise in Längen bis zu 8 km hergestellt. Auf diesen Gleisabschnitten ist nach den Messungen des Wagenversuchsamts der DB der Wagenlauf bei kleinen und großen Geschwindigkeiten ruhiger als bei allen anderen Oberbauarten.

e) Das Fahrgeräusch auf den Betonschwellen ist gering. Die oben erwähnten Messungen der Arbeitsgemeinschaft für Schallbekämpfung haben z. T. sogar niedrigere Phon-Werte ergeben als bei Holzschwellen.

f) Nach den bisherigen Erfahrungen erhofft man von den Betonschwellen eine besonders lange Lebensdauer. Doch kann darüber vorläufig nichts Sicheres gesagt werden, da die Betonschwellen der neuen Bauarten noch nicht lange genug in den Gleisen liegen. Nach etwa 10 Jahren wird man in dieser Hinsicht klarer sehen.

Diesen Vorteilen der Betonschwelle stehen folgende *Nachteile* gegenüber:

a) Wegen des großen Gewichts ist das Verlegen der Betonschwellen von Hand und das Einziehen einzelner Schwellen unbequem. Die Betonschwellen werden daher in der Regel mit besonderen Geräten verlegt, und deren Einsatz erfordert längere Sperrpausen des Gleises. Auf sehr stark belasteten Strecken macht daher der Einbau von Betonschwellen Schwierigkeiten.

b) Die Betonschwellen sind empfindlich gegen Stöße und Schläge und müssen daher beim Verladen und Entladen vorsichtig behandelt werden. Infolgedessen sollen sie auf der Strecke nicht zwischengelagert, sondern unmittelbar vom Eisenbahnwagen aus mit den Verlegegeräten eingebaut werden.

c) Daher müssen die Betonschwellen zeitlich genau während der Verlegearbeiten vom Herstellerwerk zur Verlegestelle befördert werden, was betriebs- und verkehrstechnisch manchmal Schwierigkeiten bereitet.

d) Die Betonschwellen sind hinsichtlich der Biegebeanspruchung etwas empfindlich und müssen daher besonders sorgfältig verlegt und unterhalten werden, weil anderenfalls die Gefahr besteht, daß sie Risse bekommen.

e) Die Unterschwellungen der Weichen mittels Betonschwellen ist kaum möglich und aus verschiedenen Gründen nicht zu empfehlen. Die Weichen werden daher auch künftig auf Holz- oder Stahlschwellen gelegt werden müssen.

f) Nicht mehr gleisfähige Betonschwellen werden sich nicht so günstig verwerten oder verkaufen lassen wie die Holz- oder Stahlschwellen.

Als Nachteil der Betonschwellen wird gelegentlich angeführt, daß sie weniger elastisch seien als die Holzschwellen. Tatsächlich senken sich, wie die Beobachtung lehrt, die Schienen auf den Betonschwellen unter den Achslasten der Züge etwas weniger ein als auf Holzschwellen. Das Wort „Elastizität" in diesem Zusammenhang kann aber zu Mißverständnissen Anlaß geben, weil es nicht eindeutig ist. In dieser Festigkeitslehre nennt man einen Körper dann vollkommen elastisch, wenn er nach Aufhebung der Beanspruchung wieder genau seine ursprüngliche Gestalt annimmt. Behält dagegen der Körper nach Aufhebung der Beanspruchung die Formänderung bei, so nennt man den Körper unelastisch. In diesem Sinne ist z. B. Blei ein unelastischer Stoff, während Stahl und Gummi elastisch sind. Der Unterschied zwischen den beiden letzten besteht nicht in der Elastizität als solcher, sondern nur darin, daß ihre *Elastizitätsziffern* verschieden sind, nämlich bei Stahl recht groß und bei Gummi klein. Nun wird dieser Unterschied in der Elastizitätsziffer vielfach durch die Redeweise zum Ausdruck gebracht, daß die Elastizität von Stahl kleiner sei als von Gummi. Dabei hat aber das Wort Elastizität einen ganz anderen Sinn als im ersten Falle. Man sollte im Zusammenhang mit der Einsenkung eines Gleises unter der Last besser überhaupt nicht von „Elastizität" reden, sondern von der „Unterlageziffer". Senkt sich die Schiene auf Betonschwellen beim Darüberrollen der Räder weniger als auf Holzschwellen, so heißt dies: Die Unterlageziffer ist beim Betonschwellengleis größer als beim Holzschwellengleis. Genaue Versuchsergebnisse hierüber liegen bisher noch nicht vor. Es besteht aber kein Anhaltspunkt dafür, daß gerade die Unterlageziffer beim Holzschwellenoberbau (die übrigens nach den umfangreichen Messungen des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen vor 25 Jahren außerordentlichen und unberechenbaren Schwankungen unterliegt [44]), oberbautechnisch am günstigsten ist. Genau so gut wäre es möglich, daß die größere Unterlageziffer des Betonschwellenoberbaus günstiger ist. Im Hinblick auf den ruhigen Lauf der Fahrzeuge und den Laufwiderstand ist dies nachweislich der Fall. Allenfalls könnte es sein, daß die Abnutzung von Rad und Schiene oder die Riffelbildung bei größerer Unterlageziffer größer wird. Bisher hat sich aber auch in dieser Hinsicht nichts feststellen lassen. Diese Fragen werden erst nach vielen Jahren einwandfrei beantwortet werden können.

**4. Verlegen der Betonschwellen**

Während eine Holz- oder Stahlschwelle von zwei Mann gehoben werden kann, erfordert die Betonschwelle zum Bewegen von Hand vier Mann. Man mußte daher zugleich mit der Betonschwelle selbst auch geeignete Verlegeverfahren entwickeln, wenn der wirtschaftliche Erfolg nicht von vornherein in Frage gestellt sein sollte. Zunächst nahm man wie bei den Holz- und Stahlschwellen eine Zwischenlagerung an der Baustelle in Kauf und lud die Schwellen vom Bahnwagen mit einfachen Geräten, ähnlich den Schienenladevorrichtungen, ab, um sie dann entweder von Hand oder mit einem kleinen auf Lehrschienen laufenden Kran mit Kragträger und Laufkatze zu verlegen. Da dieses Vorgehen aber noch zu umständlich und langsam war, wurden weitere Verfahren entwickelt, bei denen die Zwischenlagerung der Schwellen an der Strecke vermieden wurde. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten:

a) Man führt den Bahnwagen, der die Schwellen vom Werk bringt, möglichst nahe an die Einbaustelle heran. Mittels einer Rutsche oder Rollenbahn werden die Schwellen auf den Verlegekran befördert, der auf Lehrschienen läuft. Von diesem werden sie auf der vorbereiteten Bettung abgesetzt (Verfahren K 2). Statt dessen kann man auch folgendermaßen verfahren: Die Schwellen werden auf einer besonderen Rollenbahn vom Bahnwagen herab- und auf ihr bis zur Einbaustelle vorgeschoben (Verfahren M).

Wenn der Bahnwagen nicht bis zur Verlegestelle vorgeschoben werden kann, wird im Nachbarbahnhof jeweils eine Lage Schwellen mittels eines auf Lehrschienen laufenden Portalkrans vom Bahnwagen zunächst auf einen Beförderungswagen abgesetzt, der damit auf dem alten oder neu verlegten Gleis zur Baustelle vorfährt. Dort übernimmt der auf Lehrschienen laufende Verlegekran die Schwellen (Verfahren K 1).

Diese Verfahren können auf verschiedene Weise abgewandelt werden, je nachdem man mit oder ohne Lehrschienen arbeitet, ob man die Schwellen auf ein der Höhe nach genau abgeglichenes Splittband verlegt, das durch einen besonderen Splittbandfertiger hergestellt werden kann, oder einfach auf Schotter der Körnung 1, ob man im letzten Falle die endgültige genaue Höhenlage durch Stopfen von Hand oder mittels Maschinen oder durch Unterschaufeln herstellt usw. [15, 16.]

Bei dauernd gesperrtem Gleis kann man nach diesem Verfahren in zwei Schichten täglich bis zu 1200 m Gleis vorstrecken. In dieser Weise ist auf zweigleisigen Strecken gearbeitet worden, auf denen täglich in beiden Richtungen zusammen 180 Züge verkehren, wovon für den eingleisigen Betrieb 25 Züge teils umgeleitet, teils durch Autobus ersetzt wurden und teils ausfielen [39]. Wenn das Arbeitsgleis nur kürzer als 5 Stunden gesperrt werden kann, lassen sich diese Verfahren jedoch kaum mehr wirtschaftlich durchführen. Dann kann das folgende Verfahren angewendet werden.

b) Die Gleisjoche werden in einem Nachbarbahnhof in Längen bis zu 60 m zusammengebaut und von dort auf kleinen Rollwagen zur Einbaustelle vorgefahren, was auch durch Zweiggleisbogen von Weichen möglich ist. Mit diesem Verfahren können noch in einer dreistündigen Sperrpause bis zu 180 m Gleis verlegt werden. Es setzt aber günstige Platzverhältnisse in dem Nachbarbahnhof voraus.

Die Gesamtkosten für diese Verfahren der Betonschwellenverlegung sind im allgemeinen etwas niedriger als beim üblichen Verlegen der Holz- und Stahlschwellen. Da aber die Betonschwellen nicht während des Betriebs einzeln im Klotzverfahren verlegt werden sollen, ist ihre Verwendungsmöglichkeit auf stärker belasteten Strecken stark eingeschränkt.

## V. Schwellenwirtschaft

**1. Allgemeines**

Das Ziel der Schwellenwirtschaft ist, die Schwellen nach Bauart, Baustoff, Verwendung, Unterhaltung usw. so zu verwenden und zu behandeln, daß die jährlich für die Unterschwellung des ganzen Gleisnetzes aufzuwendenden Kosten möglichst niedrig sind. Dabei sind nicht immer rein technische und wirtschaftliche Erwägungen ausschlaggebend; denn stärker als diese sind oft wirtschaftspolitische Einflüsse verschiedener Art. Solche können z.B. sein: Knappheit oder Überfluß an einheimischen Rohstoffen oder an Leistungskraft der einschlägigen Industrie, übergeordnete staatliche Gesichtspunkte der Ein- und Ausfuhr, Mangel an ausländischen Zahlungsmitteln u.a. Z.B. könnten zur Zeit wegen der Stahlbewirtschaftung Stahlschwellen auch dann nicht beschafft werden, wenn sie technisch und wirtschaftlich einwandfrei überlegen wären. Umgekehrt beschaffte die Deutsche Reichsbahn vor zwei Jahrzehnten Stahlschwellen in großem Umfang, nicht weil sie sie als überlegen ansah, sondern lediglich, um die einheimische Stahlindustrie zu stützen. Holzschwellen, die möglicherweise vom Ausland billig angeboten würden, könnten möglicherweise wegen Zahlungsschwierigkeiten nicht gekauft werden. Bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann man aber solche Einflüsse, die oft ganz unberechenbar sind, nicht berücksichtigen.

Der jährlich für die Unterschwellung aufzuwendende Betrag setzt sich aus den Kosten für folgende Aufwendungen zusammen:

1. Jährlich einzubauende Neuschwellen als Ersatz für die auszubauenden nicht mehr gleisfähigen Altschwellen, einschließlich der Behandlung in den Lagern (Stapelung, Tränkung, Aufplattung usw.).

2. Beförderung dieser Schwellen vom Anlieferungsbahnhof zum Schwellenlager und von diesem zur Einbaustelle.

3. Einbau der Neuschwellen und Ausbau der den betrieblichen Anforderungen nicht mehr genügenden Altschwellen.

4. Beförderung der ausgebauten Schwellen zum Altschwellenlager oder zum Schweißwerk.

5. Aufarbeitung der Altschwellen.

6. Beförderung der aufgearbeiteten Schwellen zur Verwendungsstelle.

7. Einbau der Altschwellen (Schwellenauswechslung).

8. Erlös für die nicht mehr gleisfähigen verkauften Altschwellen (Bauschwellen, Brennschwellen, Schrott).

9. Unterhaltung der Schwellen im Gleis.

10. Verzinsung des Geldes für die in den Lagern liegenden Schwellen.

11. Verzinsung des Geldes für die in den Gleisen liegenden Schwellen.

Soweit es sich nur um den Vergleich verschiedener Schwellenarten handelt, dürfen allgemeine Verwaltungskosten u. dgl. unberücksichtigt bleiben, weil sie bei allen Schwellenarten fast gleich groß sind und auch anteilmäßig nicht ins Gewicht fallen. Die Kostenanteile Nr. 2 bis 8 und 10 lassen sich recht genau angeben. Etwas unsicherer ist der Anteil Nr. 9. Bezüglich des Unterschieds bei den einzelnen Schwellenarten fällt dieser aber zahlenmäßig nicht besonders ins Gewicht. Über den Anteil Nr. 11 siehe unter Abschnitt V. 3. Am unsichersten ist der Anteil Nr. 1. Dies ist aber gerade derjenige Kostenanteil, der viel mehr ausmacht als die Anteile Nr. 2 bis 10 zusammen und daher vollkommen ausschlaggebend ist. Die Anzahl der Schwellen, die in einem gegebenen Gleisnetz jährlich zu erneuern sind, hängt von der durchschnittlichen Lebensdauer der Schwellen ab. Bezeichnen wir die Anzahl der im gesamten Netz in den Gleisen liegenden Schwellen mit S und ihre durchschnittliche Lebensdauer in Jahren mit L, so ist die Anzahl der jährlich zu erneuernden Schwellen:

$$n = \frac{S}{L}. \qquad (1)$$

S ist bekannt; es kommt nun darauf an, die Größe L möglichst genau zu ermitteln.

#### 2. Lebensdauer der Schwellen

Die durchschnittliche Lebensdauer L der Schwellen hängt von folgenden Umständen ab:

a) Art des verwendeten Schwellenbaustoffs (Holz, Stahl, Beton, Kunststoff).

b) Güte des verwendeten Schwellenbaustoffes (Art, Beschaffenheit und Behandlung des Holzes, Lagerung, Zusammensetzung des Stahls, Art des Zements und der Zuschlagstoffe, Verfahren der Betonierung usw.).

c) Schutzmaßnahmen gegen Fäulnis (Tränkung), Rostschutzmaßnahmen bei Stahlschwellen.

d) Bauart der Schwellen (Formen und Abmessungen der Schwellen, Art der Bewehrung bei Betonschwellen).

e) Art der Auflagerung und Befestigung der Schienen (Lochung der Schwellen, Verwendung von Unterlagplatten oder von dämpfenden Unterlagen unter dem Schienenfuß, Schrauben, Nägel, Federringe usw.).

f) Art der Bettung (Sand, Kies, Schotter verschiedener Körnungen).

g) Örtliche Verhältnisse hinsichtlich der Linienführung, des Bahnkörpers und Untergrundes (Bogen, Gerade, Feuchtigkeit des Bodens, Dämme, Einschnitte, Wald).

h) Klimatische Verhältnisse (Luftfeuchtigkeit, Wärme, Niederschläge nach Art und Menge, chemische Einflüsse in der Luft usw.).

i) Stärke und Art der Betriebsbelastung (Achslasten, Anzahl und Art der Fahrzeuge, Geschwindigkeiten).

j) Art und Umfang der laufenden Unterhaltung (Stopfverfahren, regelmäßiges Anziehen der Schrauben, Einzelauswechslungen usw.).

k) Aufarbeitung der Holz- und Stahlschwellen.

l) Art der Schwellenwirtschaft (einmalige Verwendung oder mehrmalige nach der Stufenwirtschaft [36, 37].

m) Ansprüche, die an den Zustand der Schwellen gestellt werden im Hinblick auf den guten Lauf der Fahrzeuge und die Betriebssicherheit.

Die DB hat ein Netz zu unterhalten von 71500 km Gleis und 182000 Weichen. In ihm liegen rund 110 Millionen Gleisschwellen und 29,5 Millionen laufende m Weichenschwellen. Rechnen wir die letzten dadurch auf Gleisschwellen um, daß wir sie durch die Länge der Gleisschwelle (2,6 m) teilen, so entsprechen den Weichenschwellen 11,4 Millionen Stück Gleisschwellen. Wir können danach mit einer Unterschwellung von insgesamt 121,4 Millionen Stück Gleisschwellen rechnen. Hätte sich dieses Gleisnetz in den letzten 50 Jahren in einem unveränderlichen Unterhaltungszustand befunden und wären die oben genannten 13 Einflüsse im wesentlichen gleich gewesen, so ließe sich die durchschnittliche Lebensdauer mit großer Sicherheit leicht errechnen. Man brauchte dann nur die Anzahl s der Schwellen festzustellen, die in diesem Zeitraum im Jahresdurchschnitt als nicht mehr gleisfähig ausfielen und infolgedessen durch neue ersetzt werden mußten. Ist S die Gesamtanzahl der in dem Netz liegenden Schwellen, so wäre die durchschnittliche Lebensdauer:

$$L = \frac{S}{s}. \qquad (2)$$

Leider ist in Wirklichkeit diese einfache Rechnung nicht angängig, weil erstens keine genaue Angaben über die Schwellenerneuerung in einem solchen großen Zeitraum vorliegen und weil zweitens die Verhältnisse in bezug auf die oben aufgezählten Einflüsse nicht entfernt so gleichbleibend waren, daß eine derartige Durchschnittsbildung einen Sinn hätte. Eine zuverlässige Berechnung der durchschnittlichen Lebensdauer könnte vielmehr nur durch eine umfassende und sorgfältige Statistik gewonnen werden, welche die angegebenen 13 Einflüsse genau berücksichtigt, wobei folgende Voraussetzungen erfüllt sein müßten:

Erstens müßte die Statistik sich über das gesamte Gleisnetz erstrecken, weil ja die durchschnittliche Lebensdauer aller Schwellen im ganzen Netz ermittelt werden soll. Zweitens müßte die Statistik sich über einen Zeitraum von etwa 60 Jahren erstrecken, weil solche Lebensdauer von einem Teil der Schwellen erreicht wird. Drittens müßten während dieses Zeitraums die Verhältnisse hinsichtlich der oben angeführten 13 Punkte wenigstens annähernd gleich bleiben.

Diese drei Bedingungen sind aber leider sämtlich nicht erfüllt und werden auch künftig nie erfüllt werden können. Die vollständige Statistik müßte den Lebenslauf jeder einzelnen Schwelle verfolgen unter Berücksichtigung aller Umstände. Zu diesem Zweck müßte für jede Schwelle eine Art Personalblatt geführt werden. Diese Arbeit ist aber in einem großen Gleisnetz undurchführbar. Führte man solche Statistiken aber nur stichprobenweise auf einigen Strecken, so könnte das Ergebnis keine Allgemeingültigkeit beanspruchen. Aber selbst solche Teilstatistiken liegen über einen genügend langen Zeitraum bisher noch nicht vor. Vor allem aber hat es in der bisherigen Eisenbahngeschichte einen längeren Zeitraum mit gleichbleibenden Verhältnissen überhaupt noch nicht gegeben. Bis in dieses Jahrhundert hinein befanden sich die Eisenbahnnetze in einer ständigen Ausdehnung, wobei eine Unzahl verschiedener

Gleisbauarten und Baustoffe versucht wurden und die Betriebsbeanspruchungen dauernd wechselten. Dazu kommt noch in Deutschland die besonders große Unstetigkeit in den letzten 40 Jahren durch die beiden Weltkriege. Infolgedessen ist es nicht möglich, aus den jährlichen Beschaffungs- und Einbaumengen einen einwandfreien Schluß auf die durchschnittliche Lebensdauer der Schwellen zu ziehen. Diese Mengen schwankten von 1910 bis jetzt — durch Kriegs-, Wirtschafts- und Finanzkrisen bedingt — so unberechenbar und in so weiten Grenzen, daß eine Mittelbildung wenig Sinn hätte. Man könnte nun daran denken, die Verhältnisse in einem Lande zu betrachten, das nicht wie das jetzige Netz der DB so großen Schwankungen unterworfen war, und als solches Land lägen die USA nahe. Leider besagt dieser Vergleich für uns überhaupt nichts, weil dort die Verhältnisse hinsichtlich der Punkte l und m (Schwellenwirtschaft und Ansprüche an die Unterschwellung) völlig anders liegen als bei uns [38]. In den USA werden ausschließlich Holzschwellen verwendet, und zwar nur Hartholzschwellen, während bei der DB nur 56% Holzschwellen liegen und davon schätzungsweise nur etwa ein Drittel Hartholzschwellen, also insgesamt nur 18% [42]. Vor allem aber gibt es in den USA wegen der hohen Löhne und der niedrigen Schwellenpreise keine Aufarbeitung und Wiederverwendung von Altschwellen. In den Jahren 1943 bis 1948 haben die größeren Bahnverwaltungen in den USA durchschnittlich jährlich 81 Schwellen je km eingebaut [31, 38]. Das entspricht bei der dortigen Schwellenanzahl von rund 2000 Stück je km einer durchschnittlichen Lebensdauer von nur 25 Jahren. Mit einer solchen Zahl können wir nichts anfangen; denn es ist sicher, daß durch die pflegliche Behandlung, welche die Schwellen bei uns erfahren und die Ausnutzung bis zum letzten die durchschnittliche Lebensdauer der Buchenschwellen bei der DB höher als 35 Jahre ist.

*Die durchschnittliche Lebensdauer der Holzschwellen*

Auf Grund zahlreicher Beobachtungen und Statistiken kann man sich ein wenigstens einigermaßen zutreffendes Bild über die Lebensdauer der Schwellen machen (ausgenommen Betonschwellen) [8, 42, 45]. Früher ist für *Kiefernschwellen* eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren angegeben worden. Dies ist nach den neueren Erfahrungen sicher zu niedrig. Möglicherweise handelt es sich bei solchen Angaben gar nicht um die durchschnittliche Gesamtlebensdauer — auf die es uns hier allein ankommt —, sondern um die erste Liegedauer in den Gleisen 1. Ordnung ohne Berücksichtigung der weiteren Liegedauer der ausgebauten noch gleisfähigen Schwellen. Ferner ist zu berücksichtigen, daß bei dem seit 25 Jahren in Deutschland allgemein neuverlegten K-Oberbau durch die großen Unterlagplatten, den großen Schwellenquerschnitt der Form 1, die gute Teeröltränkung, die planmäßige Aufarbeitung der Altschwellen und die verbesserte Gleisunterhaltung eine merkliche Verlängerung der Lebensdauer der Holzschwellen eingetreten sein muß. Nach sorgfältigen Ermittlungen des Reichsbahn-Zentralamts Berlin in den dreißiger Jahren [20, 42] kann man mit folgender durchschnittlicher Lebensdauer rechnen:

Buchenschwellen L = 35 Jahre,
Kiefernschwellen L = 27 Jahre.

Dies entspricht den damaligen Grundsätzen für die Schwellenerneuerung: Man rechnete bei Kiefernschwellen mit einer ersten Liegedauer in den Gleisen 1. Ordnung von 15 Jahren. Bei der Erneuerung fielen dann noch 80% gleisfähige Schwellen an, die nach Aufarbeitung weitere 15 Jahre in den Gleisen 2. und 3. Ordnung liegen konnten. Das ergibt als durchschnittliche

$$\text{Lebensdauer: } L = \frac{80 \cdot (15 + 15) + 20 \cdot 15}{100} = 27 \text{ Jahre.}$$

Die Not der letzten zwei Jahrzehnte zwang dazu, die Schwellen in den Gleisen 1. Ordnung länger liegen zu lassen und die noch gleisfähigen Altschwellen viel strenger auszusondern, als dies in früheren Jahren geschah. Dabei scheint sich jetzt herauszustellen, daß man der Holzschwelle doch noch etwas mehr zumuten kann, als man früher geglaubt hat. Zur Zeit liegen zahlreiche Kiefernschwellengleise 1. Ordnung mit einem Alter von 25 Jahren. Sie befinden sich allerdings vielfach schon an der Grenze der Betriebssicherheit. Der Rückgewinn an altbrauchbaren Schwellen aus diesen Gleisen beträgt höchstens 50% und deren weitere Liegedauer schätzungsweise noch 10 Jahre. Damit ergibt sich die durchschnittliche Lebensdauer für Weichholzschwellen beim K-Oberbau:

$$L_{W_1} = \frac{50 \cdot (25 + 10) + 50 \cdot 25}{100} = 30 \text{ Jahre.} \quad (3)$$

Diesen Wert darf man (allerdings als Größtwert!) für den Vergleich verschiedener Schwellenarten zugrunde legen. Handelt es sich dagegen um die Ermittlung der Anzahl der jährlich neu zu beschaffenden und einzubauenden Schwellen, so muß man den Anteil der Gleise mit älteren Oberbauarten (das sind im wesentlichen die Gleise 2. und 3. Ordnung) mit der geringeren Lebensdauer

$$L_{W_2} = 27 \text{ Jahre} \quad (4)$$

in die Rechnung einführen.

Für die Hartholzschwellen (Buchenschwellen) ergeben ähnliche Erfahrungen, Überlegungen und Statistiken folgende durchschnittliche Lebensdauer:

Für den K-Oberbau

$$L_{H_1} = 40 \text{ Jahre} \quad (5)$$

und für ältere Oberbauarten

$$L_{H_2} = 35 \text{ Jahre.} \quad (6)$$

*Die durchschnittliche Lebensdauer der Stahlschwellen*

Sie läßt sich noch schwerer ermitteln als die der Holzschwellen, weil früher zahlreiche Schwellenformen mit verschiedenen Gewichten verwendet wurden (s. Tafel 5) und weil die neueren schweren Formen erst seit 25 Jahren in den Gleisen liegen. Es liegen aber auch für sie Untersuchungen und Statistiken vor, aus denen man sich ein einigermaßen zutreffendes Bild machen kann.

*Diehl* [8] ermittelt für die schwerste badische Schwelle (Tafel 5, Nr. 20) eine Lebensdauer von 38 Jahren. *Vogel* kommt für den K-Oberbau (Tafel 5, Nr. 3 bis 5 und Bild 11) zu einer Lebensdauer von mindestens 40 Jahren [45]. Neuerdings werden die ausgebauten Altschwellen mittels Aufarbeitung durch Schweißen in viel weiter gehendem Maß als früher wieder nutzbar gemacht [27]. Im Hinblick hierauf scheint es vertretbar

zu sein, für die Stahlschwellen folgende durchschnittliche Lebensdauer zugrunde zu legen:

Für den Reichsbahnoberbau

$$L_{St_1} = 45 \text{ Jahre}, \tag{7}$$

für die älteren Oberbauarten

$$L_{St_2} = 38 \text{ Jahre}. \tag{8}$$

*Die durchschnittliche Lebensdauer der Betonschwellen*

Über diese ist wegen der noch zu kurzen Liegedauer nichts Sicheres bekannt. Man darf jedoch nach den in Deutschland und Frankreich vorliegenden Erfahrungen ohne weiteres vermuten, daß sie mindestens die Lebensdauer der Kiefernschwellen erreichen werden, wenn nicht eine erhebliche längere. Um die Betonschwellen nicht etwa unberechtigterweise in ein zu günstiges Licht zu rücken, setzen wir daher für die weiteren Betrachtungen nur

$$L_B = 30 \text{ Jahre}, \tag{9}$$

wobei wir uns aber dessen bewußt bleiben, daß der richtige Wert wahrscheinlich höher liegt. Weil bei Betonschwellen keine Aufarbeitung und zweite Verwendung in Betracht kommt, ist bei ihnen die durchschnittliche Lebensdauer gleich der ersten Liegedauer, ferner brauchen wir bei ihnen nicht zwischen neuen und alten Oberbauformen zu unterscheiden.

### 3. Wirtschaftlicher Vergleich der verschiedenen Schwellenarten

Für den Vergleich brauchen wir nur die 110 Millionen Stück *Gleisschwellen* zu betrachten. Von den im Abschnitt V. 1 aufgeführten Kostenanteilen lassen wir folgende außer acht: Befördern der Schwellen (Nr. 4 und 6), Unterhaltung der Schwellen im Gleis (Nr. 9) und Verzinsung des Geldes für die in den Lagern befindlichen Schwellen (Nr. 10). Diese Kostenanteile unterscheiden sich nämlich bei den verschiedenen Schwellenarten nur so wenig und sind anteilmäßig nur so niedrig, daß sie das Ergebnis so gut wie gar nicht beeinflussen. Die Kapitalverzinsung für die in den Gleisen liegenden Schwellen (Nr. 11) bedeutet keine unmittelbare Barausgabe im Rahmen der laufend durchzuführenden Oberbauarbeiten (Oberbauprogramm); der Zinsfuß ist mehr oder weniger willkürlich; im übrigen beeinflußt dieser Kostenanteil den Unterschied der Kosten der verschiedenen Schwellenarten nicht ausschlaggebend. Wir geben diesen Kostenanteil daher jeweils besonders an und rechnen dabei mit dem Zinsfuß von 5%.

*a) Jährliche Kosten der Buchenschwellen für K-Oberbau*

Lebensdauer 40 Jahre, jährliche Erneuerungsmenge daher $\frac{110}{40} = 2{,}75$ Mio Schwellen. Kosten für eine Schwelle einschließlich Kleineisen, Tränkung, Aufplattung usw. 41,86 DM/Stück. Die Schwellenerneuerung kostet 6,50 DM/Stück. Von den ausgebauten Altschwellen werden 1,37 Mio Stück (= 50%) aufgearbeitet für 2,50 DM/Stück. Kosten für den Einbau dieser Schwellen (Schwellenauswechslung) 6,10 DM/Stück. Von den 50% nicht mehr gleisfähigen Schwellen können $\frac{1}{4}$ (= 0,344 Mio Stück) als Bauschwellen für 9 DM/Stück und $^3/_4$ (= 1,03 Mill. Stück) als Brennschwellen für 0,60 DM/Stück verkauft werden. Damit ergeben sich folgende Kostenanteile für die 110 Mio Schwellen:

| | | |
|---|---|---|
| $K_1$ (Beschaffungskosten) | = | 115,12 Mio DM |
| $K_3$ (Schwellenerneuerung) | = | 17,88 Mio DM |
| $K_5$ (Aufarbeitung) | = | 3,43 Mio DM |
| $K_7$ (Schwellenauswechslung) | = | 8,35 Mio DM |
| $K_8$ (Verkauf des Abfalls) | = | — 3,70 Mio DM |
| Zusammen: ..... | | 141,08 Mio DM |

*Eine* Buchenschwelle kostet demnach jährlich

| | |
|---|---|
| $\frac{141{,}08}{110}$ = ..... | 1,28 DM |
| $K_{11}$ (Kapitalverzinsung) $0{,}05 \times 41{,}86$ = ... | 2,09 DM |
| Zusammen ..... | 3,37 DM |

*b) Jährliche Kosten der Kiefernschwellen für K-Oberbau*

Lebensdauer 30 Jahre, jährliche Erneuerungsmenge daher $\frac{110}{30} = 3{,}67$ Mio Schwellen. Kosten für eine Schwelle einschließlich Kleineisen, Tränkung, Aufplattung usw. 44,56 DM. Die Schwellenerneuerung kostet 6,50 DM/Stück. Von den ausgebauten Altschwellen werden 1,47 Mio Stück (= 40%) aufgearbeitet für 2,50 DM/Stück. Kosten für den Einbau dieser Schwellen (Schwellenauswechslung) 6,10 DM/Stück. Von den 60% nicht mehr gleisfähigen Schwellen können $^1/_4$ (= 0,55 Mio Stück) als Bauschwellen für 8 DM/Stück verkauft werden und $^3/_4$ (= 1,65 Mio Stück) als Brennschwellen für 0,60 DM/Stück. Damit ergeben sich folgende Kostenanteile für die 110 Mio Schwellen:

| | | |
|---|---|---|
| $K_1$ (Beschaffungskosten) | = | 163,54 Mio DM |
| $K_3$ (Schwellenerneuerung) | = | 23,86 Mio DM |
| $K_5$ (Aufarbeitung) | = | 3,67 Mio DM |
| $K_7$ (Schwellenauswechslung) | = | 8,95 Mio DM |
| $K_8$ (Verkauf des Abfalls) | = | — 5,39 Mio DM |
| Zusammen: ..... | | 194,63 Mio DM |

*Eine* Kiefernschwelle kostet demnach jährlich

| | |
|---|---|
| $\frac{194{,}63}{110}$ = ..... | 1,77 DM |
| $K_{11}$ (Kapitalverzinsung) $0{,}05 \times 44{,}56$ = | 2,23 DM |
| Zusammen: ..... | 4,00 DM |

*c) Jährliche Kosten der Stahlschwellen für K-Oberbau*

Lebensdauer 45 Jahre, jährliche Erneuerungsmenge daher $\frac{110}{45} = 2{,}44$ Mill. Schwellen. Kosten für eine Schwelle einschließlich Kleineisen 39,56 DM. Die Schwellenerneuerung kostet 7,90 DM/Stück. Aus den ausgebauten Altschwellen können durch Schweißung 1,63 Mio Stück (= $^2/_3$) wiederverwendungsfähige Schwellen gewonnen werden. Diese Aufarbeitung kostet 10 DM/Schwelle. Kosten für den Einbau dieser Schwellen (Schwellenauswechslung) 6,25 DM/Stück. Die nicht mehr aufarbeitungsfähigen Schwellen und der Schrottabfall bei der Aufarbeitung ergeben nach

Abzug von 20% Rostverlust 55300 t, die je zur Hälfte für 236 DM/t als Nutzeisen und für 60 DM/t als Schrott verkauft werden. Damit ergeben sich folgende Kostenanteile für die 110 Mio Schwellen:

| | | |
|---|---|---|
| $K_1$ (Beschaffungskosten) | = | 96,53 Mio DM |
| $K_3$ (Schwellenerneuerung) | = | 19,28 Mio DM |
| $K_5$ (Aufarbeitung) | = | 16,30 Mio DM |
| $K_7$ (Schwellenauswechslung) | = | 10,17 Mio DM |
| $K_8$ (Verkauf des Abfalls) | = | — 8,19 Mio DM |
| Zusammen: ..... | | 134,09 Mio DM |

*Eine* Stahlschwelle kostet demnach jährlich

| | |
|---|---|
| $\frac{134{,}09}{110}$ = ..... | 1,22 DM |
| K11 (Kapitalverzinsung) 0,05 × 39,56 = | 1,98 DM |
| Zusammen: ..... | 3,20 DM |

*d) Jährliche Kosten der Betonschwellen für K-Oberbau*

Lebensdauer 30 Jahre, jährliche Erneuerungsmenge daher $\frac{110}{30} = 3{,}67$ Mio Schwellen. Kosten für eine Schwelle einschließlich Kleineisen 42,23 DM. Die Schwellenerneuerung kostet 7,05 DM/Stück. Die Kostenanteile Nr. 5, 7 und 8 entfallen, da angenommen wird, daß eine Aufarbeitung, Wiederverwendung und ein Erlös für nicht mehr gleisfähige Betonschwellen nicht möglich ist. Damit ergeben sich folgende Kostenanteile für die 110 Mio Schwellen:

| | | |
|---|---|---|
| $K_1$ (Beschaffungskosten) | = | 154,98 Mio DM |
| $K_3$ (Schwellenerneuerung) | = | 25,87 Mio DM |
| Zusammen: ..... | | 180,85 Mio DM |

*Eine* Betonschwelle kostet demnach jährlich

| | |
|---|---|
| $\frac{180{,}85}{110}$ = ..... | 1,64 DM |
| $K_{11}$ (Kapitalverzinsung) = 0,05 × 42,23 = | 2,11 DM |
| Zusammen: ..... | 3,75 DM |

Hierbei ist mit der teuersten Befestigung gerechnet worden und mit der wahrscheinlich zu niedrigen Lebensdauer von 30 Jahren. Rechnen wir mit der Befestigung ohne Rippenplatten (Schwellenpreis 38,92 DM) und mit der Lebensdauer von 45 Jahren wie bei Stahlschwellen, so ergeben sich für die Betonschwelle die Jahreskosten von 1,02 DM und zuzüglich der Kapitalverzinsung 2,97 DM.

In der Tafel 7 (oben rechts) sind die ermittelten Jahreskosten für die untersuchten Schwellenarten zusammengestellt. Die Ermittlung ließe sich natürlich noch verfeinern (z.B. durch besondere Berücksichtigung der Lebensdauer und Aufarbeitung für das Kleineisen). Die Zahlen der Tafel sollen aber auch nur einen ungefähren Anhalt geben, zumal weil die Preise ständigen Schwankungen unterworfen sind; zum Vergleich der verschiedenen Schwellenarten genügen sie aber.

**4. Notwendige jährliche Schwellenerneuerung bei der Deutschen Bundesbahn**

Wir haben bisher für den Vergleich der verschiedenen Schwellenarten die durchschnittlichen Lebensdauern jeder Schwellenart für sich betrachtet. Wenn wir aber feststellen wollen, wieviel Schwellen im gesamten Gleisnetz der DB jährlich erneuert werden müssen, so ist der jetzige Anteil an den einzelnen Schwellenarten in den Gleisen zu berücksichtigen und dabei außerdem zwischen dem Reichsbahnoberbau und den älteren Oberbauarten zu unterscheiden, so daß wir das ganze Netz nach 6 Gruppen aufzuteilen haben. Für diese Aufteilung liegt zwar keine genaue Statistik vor; die in der folgenden *Tafel 8* angegebene Aufteilung entspricht aber genügend genau der Wirklichkeit. Die Spalte 2 enthält die Anzahl der unter diese Gruppen fallenden Schwellen in % von der Gesamtmenge (110 Mio Stück). In der Spalte 3 stehen die durchschnittliche Lebensdauer nach den Gleichungen 3 bis 8 und in der Spalte 4 die Produkte aus den %-Zahlen und der Lebensdauer. Zählen wir die Zahlen der Spalte 4 zusammen und teilen die Summe durch 100, so erhalten wir die gesuchte durchschnittliche Lebensdauer für die Unterschwellung im ganzen Netz:

$$L = \frac{3525}{100} = 35{,}25 \approx 35 \text{ Jahre.}$$

| Schwellenart | Lebensdauer in Jahren | Jährliche Kosten für eine Schwelle in DM | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ohne Kapitalverzinsung | Kapitalverzinsung 5% | Zusammen |
| Buchenschwelle | 40 | 1,28 | 2,09 | 3,37 |
| Kiefernschwelle | 30 | 1,77 | 2,23 | 4,00 |
| Stahlschwelle | 45 | 1,22 | 1,98 | 3,20 |
| Betonschwelle | 30 | 1,64 | 2,11 | 3,75 |
| Betonschwelle | 45 | 1,02 | 1,95 | 2,97 |

*Tafel 7. Jährlicher Kostenaufwand für eine im Gleis liegende Schwelle bei ausschließlicher Verwendung der betreffenden Schwellenart (ohne Unterhaltungs- und Beförderungskosten)*

*Tafel 8. Ermittlung der durchschnittlichen Lebensdauer der Schwellen im gesamten Gleisnetz der Deutschen Bundesbahn*

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Art des Oberbaues | Anzahl der Schwellen in % | Lebensdauer L in Jahren | Spalte 2 mal Spalte 3 |
| Reichsbahnoberbau (K) auf Hartholzschwellen | 12 | 40 | 480 |
| Reichsbahnoberbau (K) auf Weichholzschwellen (einschl. Betonschwellen) | 13 | 30 | 390 |
| Reichsbahnoberbau (K) auf Stahlschwellen | 14 | 45 | 630 |
| Ältere Oberbauarten auf Hartholzschwellen | 6 | 35 | 210 |
| Ältere Oberbauarten auf Weichholzschwellen | 25 | 27 | 675 |
| Ältere Oberbauarten auf Stahlschwellen | 30 | 38 | 1140 |
| Zusammen: | 100% | | 3525 |

Da die zugrunde gelegten Lebensdauern der Holz- und Stahlschwellen recht hoch angenommen wurden, muß man diese durchschnittliche Lebensdauer von 35 Jahren als einen Höchstwert ansehen. Im Schrifttum findet man durchweg niedrigere Zahlen.

Im Netz der DB liegen insgesamt 121,4 Mio Stück Schwellen (wobei die Weichenschwellen auf Gleisschwellen umgerechnet und zugeschlagen sind). Daher müssen jährlich (Gl. 1)

$$n = \frac{121{,}4}{35} = 3{,}47 \text{ Mio Schwellen}$$

erneuert werden, wenn das Gleisnetz in seinem jetzigen Umfang und Zustand erhalten bleiben soll. Man kann wohl eine Zeitlang diese notwendige Erneuerungszahl herunterdrücken, wobei aber wegen der wachsenden Überalterung der Schwellen die Güte der Gleise abnimmt. Tatsächlich ist im Netz der DB seit fast 20 Jahren die Schwellenerneuerung ständig mehr oder weniger hinter der Sollmenge zurückgeblieben, so daß jetzt bereits rund 20 Mio Schwellen rückständig sind, die normalerweise erneuert worden wären. Dementsprechend ist der Gleiszustand abgesunken. Sollte im Laufe von 20 Jahren der frühere gute Gleiszustand wiederhergestellt werden, so müßten auf diese Dauer jährlich noch zusätzlich eine Million Schwellen eingebaut werden, also insgesamt 4,47 Mio Schwellen je Jahr. Die Anzahl der Langsamfahrstellen wegen mangelhaften Oberbaus, die im Jahre 1948 noch bei 200 lag, ist inzwischen auf über 700 angestiegen und wächst ständig. Man erkennt hieraus, daß das weitere Absinkenlassen des Unterhaltungszustands der Gleise jetzt unvermeidlich weitere Betriebsstörungen (Langsamfahrstellen und Gleissperrungen) zur Folge haben wird. Für die Zukunft des Gleisnetzes der DB gibt es daher nur die beiden folgenden Möglichkeiten: Entweder werden künftig jährlich mindestens die nötigen 3,47 Millionen Schwellen eingebaut, oder es müssen entsprechend viele Strecken stillgelegt und die damit verbundenen Betriebseinschränkungen in Kauf genommen werden [3, 36, 37].

## Schriftenverzeichnis


1) *Baumgarten:* „*Vorgespannte Beton-Eisenbahn-Schwellen nach dem Dow-Mac-System*". Betonsteinzeitung 1949, H. 7

2) — „*Herstellung von Betonschwellen nach dem Dow-Mac-System.*" Betonsteinzeitung 1951, H. 10

3) *Bertram:* „*Die Erneuerung des Oberbaus*". „Die Bundesbahn" 1951, H. 10

4) *Bilfinger:* „*Über die Verwendung von Eisenbetonschwellen*". „*Der Zement*" 1937, H. 1-3

5) *Bräuning:* „*Die Grundlagen des Gleisbaues*". Berlin 1920 (Ernst & Sohn)

6) *Deutsche Bundesbahn*: Oberbauvorschriften für Vollspurbahnen (Obv) 1951.

7) — Anhang zu den Oberbauvorschriften (AzObv)

8) *Diehl*: „*Die Lebensdauer von Eisenbahnschwellen*". „Eisenbahntechnische Rundschau", 1952, H. 4

9) *Findeis:* „*Gedanken über den Rohstoffverbrauch beim Gleisbau*". „Gleistechnik und Fahrbahnbau" 1942, H. 21

10) *Flöter*: „*Die Oberbaulager*". „Der Eisenbahnbau" 1950, H. 5

11) *Flöter* und *Steinwede*: „*Das Holz im Oberbau der Deutschen Reichsbahn*". „Der Bahningenieur" 1936, H. 51/52

12) *Haarmann*: „*Das Eisenbahngleise*". 1. Teil 1891, 2. Teil 1902 (Leipzig, Wilhelm Engelmann)

13) *Hartmann:* „*Die Vignolschiene — ein historischer Irrtum*". „Der Eisenbahnbau" 1948, H. 1

14) — „*Die Stahlbetonschwelle im Ausland.*" „Der Eisenbahnbau" 1948, H. 2

15) *Kuhn:* „*Mechanisierung der Oberbauarbeiten*". „Der Eisenbahnbau" 1950, *H.* 5

16) — „*Der mechanisierte Gleisumbau*". „Die Bundesbahn" 1951, H. 13

17) *Leduc* und *Train:* „Schwellen" (verschiedene Typen, Methoden des Unterhalts, wirtschaftliche Vergleiche). Berichte zum Internationalen Eisenbahn-Kongreß 1947 (Int.Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung, Brüssel)

18) *Leonhard*: „*Zur Frage der Lebensdauer hölzerner und eiserner Bahnschwellen*". „Die Holzschwelle" 1932, H. 14

19) — „*Stahl- oder Holzschwellen?*". „Gleistechnik und Fahrbahnbau" 1938, H. 13

20) *Mahlke-Troschel*: „*Handbuch der Holzkonservierung 1950*" (Springer-Verlag)

21) *Marschner:* „*Der Oberbau der Deutschen Reichsbahn in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft*". „Der Bahningenieur" 1935, H. 38

22) *Meier:* „*Die Eisenbahnschwelle aus Stahlbeton*". „Die Eisenbahntechnik" 1947, H. 7

23) — „*Die Bemühungen um die hölzerne Sparschwelle*". „Der Eisenbahnbau" 1949, H. 1

24) — „*Reichsbahnbedingungen für vorgespannte Stahlbetonschwellen*". „Die Eisenbahntechnik" 1949, H. 2

25) — „*Die neuen Spannbetonschwellen der Deutschen Bundesbahn*". „Die Bundesbahn" 1951, H. 13 und „Beton- und Stahlbetonbau" 1951, H. 8—9

26) „Monatsschrift der Internationalen Eisenbahn-Kongreß-Vereinigung" 1949, H. 3. Bericht über neuere Erfahrungen mit Stahlbeton- und Spannbetonschwellen

27) *Müller*: „*Die Aufarbeitung schwerer Oberbaustoffe*". „Verkehr und Technik" 1951, H. 3—4

28) *Nowak* (Professor): „*Neue Erkenntnisse über Holztränkung*". „Die Bautechnik" 1942, H. 19

29) *Nowak* (Emil): „*Holzschwellen*". „Der Eisenbahnbau" 1950, H. 5

30) *Popp:* „*Über die Stoßwirkungen unrunder Eisenbahnräder*". Denkschrift des Eisenbahn-Zentralamts München 1944

31) „Railway Age", August 1948, S. 28. Zusammenstellung über die Schwellenerneuerung in den USA

32) *Rütgers:* „*Lebensdauer der mit Teeröltränkung versehenen Buchenschwellen der früheren Österreichisch-Ungarischen Südbahngesellschaft*". „Die Gleistechnik" 1927, H. 3

33) *Saller:* „*Der Eisenbahnoberbau im Deutschen Reich*". Berlin 1928 (Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft)

34) — „*Zusammengesetzte Eisenbahnquerschwellen*". „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens" 1941, H. 15

35) *Schramm:* „*Oberbauberechnungen*". „Gleistechnik und Fahrbahnbau" 1942, H. 1/2—5/6

36) — „*Gleisbau und Volkswirtschaft*". Studienkonferenzschriften, Band 2, S. 184—198 (Deutsche Bundesbahn 1948)

37) — „*Das Gleisnetz der Deutschen Bundesbahn und seine Unterhaltung*". „Jahrbuch des Eisenbahnwesens" 1950, S. 43—49

38) — „*Die Bauart des Oberbaus in den USA*". „Die Bundesbahn", Sonderausgabe November 1951

39) *Seibel:* „*Betriebserfahrungen bei Gleiserneuerung auf stark belegten Strecken*". „Die Eisenbahntechnik" 1951, H. 8

40) *Sonneville:* „*Vortrag über Modernisierung des Oberbaus*". Gehalten am 19. 4. 1951 in Brüssel

41) *Steinwede:* „*Die Holzschwelle im Kriege*". „Der Bahningenieur" 1941, H. 35

42) — „*Die Lebensdauer von Holzschwellen*". „Der Eisenbahnbau" 1951, H. 11

43) *Taschinger:* „*Der gegenwärtige Stand in der Untersuchung des Geräuschproblems von fahrenden Eisenbahnwagen*". „Glasers Annalen" 1951, H. 10

44) *Verein Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen:* Bericht des Oberbau- und Bahnbaufachausschusses über die Versuche zur Festsetzung der Größe der Unterlageziffer bei der Berechnung des Oberbaus. Berlin, Mai 1935

45) *Vogel:* „*Gesetzmäßigkeiten beim Ausbau von Eisenbahnschwellen*". „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens" 1932, H. 4

46) — „*Stahlschwellen*". „Verkehrstechnische Woche" 1934, H. 7—9

47) *Zimmermann*: „*Die Berechnung des Eisenbahnoberbaus*". *1888* (2. unveränderte Auflage 1930, Wilh. Ernst & Sohn)